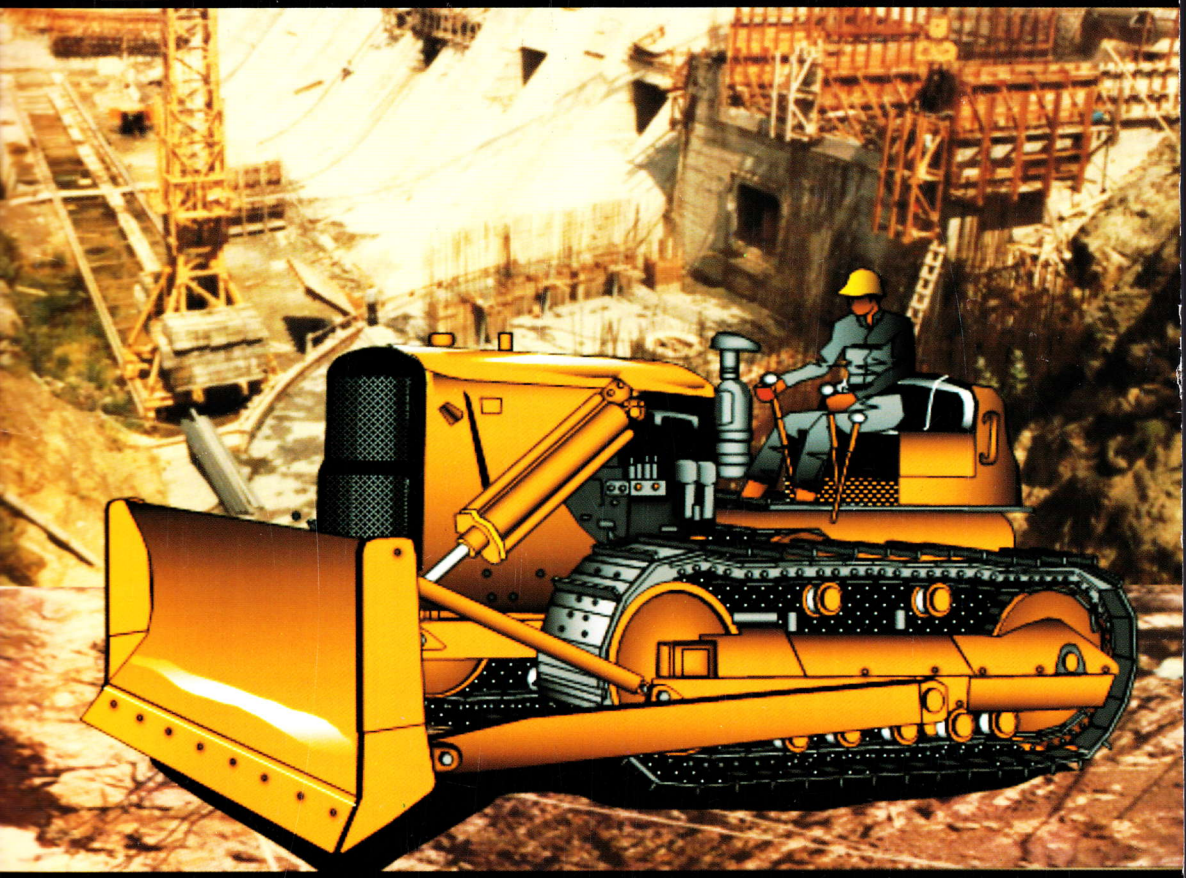
GRAHA ILMU



Kata Sambutan
Ir. Djoko Kirmanto,Dipl. HE
Menteri Pekerjaan Umum

KAAN
AN
TIMUR

Metode Kerja Bangunan Sipil

Amien Sajekti

Metode Kerja
Bangunan Sipil

GRAHA ILMU

Kata Sambutan
Ir. Djoko Kirmanto,Dipl. HE
Menteri Pekerjaan Umum

Metode Kerja **Bangunan Sipil**

Amien Sajekti

METODE KERJA BANGUNAN SIPIL

Oleh : Amien Sajekti

MILIK
Badan Perpustakaan
dan Kearsipan
Provinsi Jawa Timur
341.742/BPK/P/2010

Edisi Pertama
Cetakan Pertama, 2009

Hak Cipta © 2009 pada penulis,
Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

GRAHA ILMU
Candi Gebang Permai Blok R/6
Yogyakarta 55511
Telp. : 0274-882262; 0274-4462135
Fax. : 0274-4462136
E-mail : info@grahailmu.co.id

Sajekti, Amien

METODE KERJA BANGUNAN SIPIL/Amien Sajekti
-Edisi Pertama - Yogyakarta; Graha Ilmu, 2009
xlvi + 392 hlm, 1 Jil. : 23 cm.

ISBN: 978-979-756-545-9

1. Teknik I. Judul

KATA SAMBUTAN
MENTERI PEKERJAAN UMUM

Penerbitan buku berjudul Metode Kerja Bangunan Sipil oleh sdr. Ir. AMIEN SAJEKTI ini patut kita sambut dengan gembira karena buku yang memuat pengetahuan dan pengalaman penulis selama berkiprah di bidang jasa konstruksi dan menjadi Dosen di Sekolah Tinggi Teknologi SAPTA TARUNA untuk mata kuliah "Metode Pelaksanaan Konstruksi" dapat menjadi acuan bagi masyarakat yang bergerak di bidang jasa konstruksi dalam melaksanakan dan mengembangkan usahanya.

Dalam era persaingan usaha yang semakin ketat, untuk menyelesaikan suatu kegiatan pembangunan yang harus memenuhi standar mutu yang baik dan biaya yang wajar merupakan suatu kebutuhan yang sangat mendasar. Kiranya sudah hampir tidak ada jalan lagi untuk menekan harga upah dan bahan, kecuali dengan memilih metode kerja yang tepat dalam rangka meningkatkan efisiensi, efektivitas dan produktivitas pengelolaan proyek.

Di kalangan mahasiswa, seperti halnya Sekolah Tinggi Teknologi SAPTA TARUNA, sebagai Perguruan Tinggi binaan Departemen Pekerjaan Umum, dalam upaya menjadikan lulusannya dapat siap kerja, seyogyanya buku ini dapat digunakan sebagai salah satu bahan untuk dipelajari dan dipahami.

Semoga buku ini dapat dijadikan salah satu referensi bagi pihak-pihak yang bergerak di bidang jasa konstruksi, demi suksesnya pembangunan di Indonesia.

Jakarta, Februari 2009

Menteri Pekerjaan Umum

Djoko Kirmanto

KATA PENGANTAR

Sasaran utama dalam buku ini adalah untuk membantu para pembaca agar mendapatkan wawasan mengenai metode kerja dalam pelaksanaan kegiatan suatu bangunan. Terutama dalam era pembangunan yang berlangsung selama ini, perlu adanya upaya terus menerus agar mendapatkan metode kerja dalam pelaksanaan kegiatan pembangunan yang paling efisien dan efektif. Karena kita tahu bahwa metode kerja yang efisien belum tentu efektif, demikian pula sebaliknya. Di kalangan pemilik bangunan dan perencana bangunan sudah jelas menuntut dan merencanakan hasil bangunan dengan mutu yang baik dan harga yang rendah; di kalangan kontraktor akan berusaha merencanakan anggaran pelaksanaannya yang efisien dan efektif, dan menyelesaikan bangunan dengan mutu yang baik sesuai persyaratan dan harga serendah mungkin. Dalam persaingan bisnis yang sangat ketat ini, kiranya untuk upah dan bahan sudah hampir tidak ada jalan untuk menekan harga, jadi satu-satunya jalan adalah dengan menggunakan/memilih metode kerja yang sesuai/tepat agar tetap mendapatkan hasil yang baik, dengan penggunaan fasilitas pendukung sekecil mungkin dan waktu pelaksanaan yang secepat

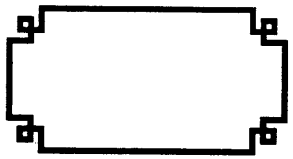
mungkin. Perlu juga kiranya dikaji bahwa dengan menggunakan cara *labour-intensive* belum tentu akan lebih efisien dan efektif dibanding dengan menggunakan cara *equipment-intensive*, karena semua cara ini perlu selain harus diikuti dengan pengalaman dari sumber daya manusianya, juga perlu diperhitungkan terhadap permasalahan kesulitan teknis pengerjaannya maupun besar/ volume dari kegiatan yang harus dikerjakan.

Di kalangan mahasiswa dari beberapa kampus banyak yang sudah mendapatkan mata kuliah yang menyiapkan lulusan untuk menghadapi pekerjaan yang nyata di lapangan, tetapi mudah-mudahan dengan buku ini akan lebih menambah pengetahuan bagi para mahasiswa untuk dapat siap bekerja.

Dalam buku ini terpaksa banyak istilah yang masih menggunakan bahasa asing karena banyak bahasa asing yang sudah banyak/sering digunakan dan menjadi atau dijadikan bahasa Indonesia, tetapi ada juga karena beberapa istilah teknik yang jika diterjemahkan dalam bahasa Indonesia akan menjadi rancu bagi para pelaksana pembangunan yang sudah terbiasa memakai istilah tersebut di lapangan, terutama dalam banyak istilah mesin dan peralatan. Tetapi penulis bukan bermaksud untuk tidak menggunakan bahasa Indonesia yang baik, mudah-mudahan untuk waktu mendatang para ahli bahasa sudah mendapatkan istilah-istilah yang baku.

Penulis menyadari dalam buku ini masih banyak kekurangannya, karena kita tahu bahwa jenis peralatan untuk mendukung pekerjaan bangunan sipil sangat beragam dan juga karena kemajuan teknologi yang sangat cepat. Kami sangat mengharapkan saran dari pembaca untuk perbaikan buku ini. Mudah-mudahan buku ini dapat bermanfaat. Terima kasih.

Ir. Amien Sajekti



NOMENKLATUR

SIMBOL

$\bar{\sigma}_{lt}$	Tegangan lentur yang diperkenankan (bab cetakan beton)
$\bar{\sigma}_{tk\perp}$	Tegangan tekan tegak lurus serat yang diperkenankan (bab cetakan beton)
$\bar{\sigma}_{tr\perp}$	Tegangan tarik tegak lurus serat yang diperkenankan (bab cetakan beton)
$\bar{\sigma}_{tk//}$	Tegangan tekan sejajar serat yang diperkenankan (bab cetakan beton)
$\bar{\sigma}_{tr//}$	Tegangan tarik sejajar serat yang diperkenankan (bab cetakan beton)
$\pm$	Lebih kurang
$\varnothing$	Diameter
b	Lebar balok (bab cetakan beton)
b	*solid volume* (volume masif = volume pejal) dari *agregat* kasar dalam satuan volume dari beton (rencana campuran beton)

b/b_0	Volume dari *agregat* kasar kering yang telah dipadatkan dalam satuan volume dari beton (rencana campuran beton)
b_0	*Solid volume* (volume masif = volume pejal) dari *agregat* kasar dalam satuan volume dari *agregat* kasar kering yang telah dipadatkan (dry-rodded coarse *aggregate*) (rencana campuran beton)
C, °C	Celsius, derajat celsius
E	Modulus elastisitas (bab cetakan beton)
f_{max}	Lendutan maksimum (bab cetakan beton)
G	Berat keseluruhan (bab cetakan beton)
h	Tinggi balok (bab cetakan beton)
I	Momen kelembaman (bab cetakan beton)
L	Bentang balok (bab cetakan beton)
M	Momen (bab cetakan beton)
$M^{(-)}_{max}$	Momen negatif maksimum (bab cetakan beton)
$M^{(+)}_{max}$	Momen positif maksimum (bab cetakan beton)
P	Tekanan maksimum pada dinding cetakan beton (bab pengecoran beton)
P	Beban terpusat (bab cetakan beton)
q	Beban terbagi rata (bab cetakan beton)
Q	$Q = \frac{b}{b_0}$ (rencana campuran beton)
S - curve	Kurva berbentuk S
T_E	Waktu tercepat yang dapat di harapkan
T_L	Waktu paling lambat yang diperkenankan
V	Kecepatan pengecoran arah vertikal (bab pengecoran beton)
W	Momen penahan (bab cetakan beton)

SINGKATAN

AC	Air Condition
Cfm	Cubic feet per minute
CM	sentimeter
Cu yd	Cubic yards = 0,764559 M^3
Dst	Dan seterusnya
FM	Fineness Modulus
KM	Kilometer
KM/jam	Kilometer per jam (satuan kecepatan)
Lb	Pound(s); lb(s)
M	Meter
M^2	Meter persegi (satuan luas)
M^3	Meter kubik (satuan volume)
Max	Maksimum
MC	Mediun *curing*
MM	milimeter
MS	Medium setting
OGL	Original ground levek
OMC	Optimum moisture content
P	Tekanan peledakan maksimum (peledakan batuan)
R	Radius tanah batuan yang rusak karena peledakan (peledakan batuan)
RAB	Rencana Anggaran Biaya
RAP	Rencana Anggaran Pelaksanaan
RC	Rapid *curing*
S	Tegangan tarik ultimit dari batuan (peledakan batuan)
SC	Slow *curing*
SG	Specivic gravity
SNI	Standar Nasional Indonesia

SS	Slow setting
SSD	Saturated surface dry
Sta	Station (titik-titik penentuan/patokan)
Telp	telpon

-oo0oo-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram batang. Garis merah adalah Grafik Prestasi (*S-curver*)	13
Gambar 2.2	Diagram hubungan antara panjang jalan terhadap waktu penyelesaian kegiatan pekerjaan di lapangan	14
Gambar 2.3	Diagram batang untuk jadwal pengecoran beton pada bangunan bendung, yang dibagi dalam beberapa segmen-segmen secara horisontal dan tiga bagian secara vertikal. Setiap lapis horisontal mempunyai warna sendiri. Diagram menunjukkan hubungan antara waktu dan lokasi pengecoran	16
Gambar 2.4	Penjadwalan secara matriks untuk pekerjaan bangunan gedung bertingkat tinggi	17
Gambar 2.5	Suatu kegiatan pekerjaan pemasangan pipa yang dimulai dengan event 1 dan diakhiri dengan event 2, dan memerlukan waktu selama 14 satuan waktu, dapat berupa hari, minggu, bulan dan sebagainya.	18

Gambar 2.6	Urut-urutan kegiatan dan penggabungan jaringan pada suatu proyek pemasangan pipa air dalam tanah, yang digambarkan secara sederhana.	19
Gambar 2.7	Pengecoran plat lantai dapat dilaksanakan setelah dinding keliling selesai dikerjakan dan juga kolom tengah selesai dikerjakan.	19
Gambar 2.8	Jaringan kegiatan pelaksanaan pengecoran beton plat pada pembangunan sebuah rumah	20
Gambar 2.9	Jaringan dengan cara menentukan waktu tercepat yang dapat diharapkan (T_E)	21
Gambar 2.10	Pengaruh kegiatan semu pada suatu jaringan	22
Gambar 2.11	Banyak kemungkinan pada suatu jaringan yang kompleks, akan mempunyai beberapa jalur yang kritis	22
Gambar 2.12	Waktu tercepat yang diharapkan dan waktu paling lambat yang masih diperkenankan, diambil dari gambar 2.9. Satuan waktu dalam minggu	23
Gambar 2.13	Waktu tercepat yang diharapkan dan waktu paling lambat yang masih diperkenankan, diambil dari gambar 2.11. Satuan waktu dalam minggu	24
Gambar 2.14	Kegiatan-kegiatan pekerjaan galian tanah, pemasangan pipa, dan urugan tanah kembali, yang dikerjakan secara kombinasi seri dan paralel	27
Gambar 2.15	Diagram kisi waktu (*time-grid diagram*)	28
Gambar 2.16	*Job layout* Proyek Dam Sampean Baru, desa Tapen Jawa Timur	30
Gambar 2.17	Contoh form Rencana Anggaran Pelaksanaan	35
Gambar 2.18	Sisa anggaran biaya	36
Gambar 2.19	Posisi biaya	37
Gambar 3.1	Mengukur letak B terhadap A, harus diketahui l dan h	42
Gambar 3.2	Mengukur letak garis BD terhadap A	42
Gambar 3.3	Potongan melintang (sebelah kiri) dan potongan memanjang (sebelah kanan), yang menunjukkan letak as bangunan	44
Gambar 3.4	Gambar perspektif papan bangunan (*bouwplank*)	44
Gambar 3.5	Pemasangan papan bangunan pada bangunan tembok pondasi jembatan	45
Gambar 3.6	Gambar rencana pembuatan jalan, potongan memanjang dan melintang, dengan disertai daftar data-data untuk keperluan pelaksanaan.	46
Gambar 3.7	Pemasangan mal untuk selokan	48
Gambar 3.8	Pengukuran garis proyeksi horisontal	48
Gambar 3.9	Membuat garis tegak lurus terhadap garis lain	49
Gambar 3.10	Cara lain membuat garis tegak lurus terhadap garis lain	50
Gambar 3.11	Bentuk-bentuk khusus yang perlu diketahui dalam pelaksanaan	50
Gambar 3.12	As bangunan bentuk lingkaran	51
Gambar 3.13	Perbedaan tinggi antara titik A dan titik B	52
Gambar 3.14	Alat libel	53
Gambar 3.15	Mengeliminir kesalahan pada alat libel	53
Gambar 3.16	Cara untuk menimbang tinggi dengan selang air	54
Gambar 3.17	Timbangan rel	54
Gambar 3.18	Membuat profil tegak	55

Gambar 3.19	Profil untuk pondasi dangkal	55
Gambar 3.20	Profil pilar bulat	55
Gambar 3.21	Pemasangan Kusen pintu	56
Gambar 4.1	Salah satu jenis dari buldoser	60
Gambar 4.2	V blade, yang dipasang di depan buldoser pengganti *blade*, untuk pembersihan/land clearing. Sumber dari *Construction Planning, Equipment, And Methods, Peurifoy*	60
Gambar 4.3	Garukan/garpu/rake, yang dipasang di depan buldoser *pengganti blade*, untuk pembersihan/land clearing. Sumber dari *Construction Planning, Equipment, And Methods, Peurifoy*	61
Gambar 4.4	Penggalian pondasi sumur	61
Gambar 4.5	Skema metode kerja penggalian parit atau penggalian pondasi dengan menggunakan *excavator / backhoe*	63
Gambar 4.6	a. Excavator/ shovel/hoe. b. *Bucket* dari shovel, tampak depan. c. Potongan melintang galian dan tipe pondasi *voet plaat.*	65
Gambar 4.7	*Wheel-tractor-mounted buldoser*	73
Gambar 4.8	Pengoperasian dengan menggunakan dua buldoser yang berdampingan dengan cara mendekatkan masing-masing blade sehingga manaikkan output dari buldoser	76
Gambar 4.9	*Track loader*	77
Gambar 4.10	*Wheel loader*	77
Gambar 4.11	a. *Dump truck* dengan posisi normal untuk menerima muatan atau membawa muatan; b. *dump truck* dengan posisi membuang/ mengeluarkan muatan	78

Gambar 4.12	Dua cara pemuatan loader ke dalam bak dari *dump truck*, V-tipe dan I-tipe	79
Gambar 4.13	Heap volume, dengan isian yang teronggok/ *stapel*	80
Gambar 4.14	Hasil produksi *track loader*	84
Gambar 4.15	Hasil produksi *wheel loader*	89
Gambar 4.16	Sketsa salah satu bentuk *scrapers*	90
Gambar 4.17	Salah satu tipe dari scrapers pada konstruksi suatu proyek jalan	90
Gambar 4.18	Buldoser dengan dilengkapi ripper	95
Gambar 4.19	A. Ripper yang bergerak secara paralel. B. *Ripper* yang bergerak melalui engsel	95
Gambar 4.20	Penggunaan jackhammer untuk pemotongn tanah keras. Perlu menggunakan mesin *compressor* yang besar agar dapat digunakan untuk beberapa mesin *jackhammers*	97
Gambar 4.21	Track-mounted drill ada yang menyebut *crawler drill*, menggerakkan mesin dengan compressor	97
Gambar 4.23	Sketsa salah satu bentuk dari mata bor (bit) yang digunakan *crawler drill*	98
Gambar 4.22	Posisi batang bor dapat dirubah sesuai dengan bentuk permukaan yang akan diledakan.	98
Gambar 4.24	Cara pengisian bahan peledak, detonator dan stemming	100
Gambar 4.25	Sistem arus listrik untuk peletupan detonator	101
Gambar 4.26	A. Sketsa urutan peledakan. B. Cara pengeboran. Urutan peledakan adalah 1,2,3,4,5	102
Gambar 4.27	Dua cara metode pengeboran, miring 10° - 40°, dan vertikal	103

Gambar 4.28	Penempatan lubang-lubang peledakan dalam satu jajaran	106
Gambar 4.29	Metode peledakan pada pekerjaan pembuatan terowongan	107
Gambar 4.30	Beberapa macam drifts	108
Gambar 4.31	Sebuah contoh kasus peledakan di dalam air untuk memotong batuan setinggi 4,00 M. Lubang peledakan Ø 2 ½ ", jarak lubang peledakan ke lubang peledakan berikutnya 1,50 M, jarak lubang peledakan ke permukaan batu yang sudah diledakkan 1,50 M, dan lubang peledakan dilebihkan menjadi 5 M untuk meyakinkan batuan yang hancur bisa sampai kedalaman 4,00M seperti yang dikehendaki. Mesin bor dimodifikasi di atas pontoon.	110
Gambar 4.32	Metode kerja dengan satu jalur	111
Gambar 4.33	Metode kerja dengan beberapa jalur	111
Gambar 4.34	Gambar gudang bahan peledak pada proyek Dam Sampean Baru, Jawa Timur	117
Gambar 4.35	Grader	119
Gambar 4.36	Patok untuk memberikan perkiraan elevasi tanah yang harus dipotong, dengan batas cat warna 10 cm di atas elevasi yang ditentukan	120
Gambar 4.37	Membuat parit sementara, dengan pisau grader diputar vertikal. Dengan adanya parit sementara air hujan tidak menggenang di atas daerah subgrade badan jalan, sehingga menghindari bertambahnya *water content* dari subgrade.	120
Gambar 4.38	Parit tepi jalan dengan menggunakan plat beton pracetak	121
Gambar 4.39	Sketsa metode penurunan muka air tanah pada lokasi penggalian tanah	122

Gambar 4.40	Dewatering system dengan menggunakan *diaphragm wall*, sump pump dan *temporary dam*. Tampak juga lokasi jalur *haul road*.	124
Gambar 4.41	Contoh penggalian tanah misalnya untuk pemasangan pipa air minum dari beton Ø 2,5 M, pada tanah yang tidak ada gangguan kegiatan manusia/rumah/kendaraan dan lain-lain.	127
Gambar 4.42	Contoh penggalian tanah pada daerah yang penuh dengan kegiatan manusia, rumah kanan kirinya, sehingga ada gaya tekanan tanah aktif. Untuk menanggulangi longsornya tanah digunakan sheet piles, atau penahan tanah papan dan balok kayu.	127
Gambar 4.43	Penggalian untuk pembuatan dinding di bawah tanah	128
Gambar 4.44	*Clam shell*, alat penggalian untuk pembuatan dinding di bawah tanah, dengan bobot yang amat berat	128
Gambar 4.45	Metode kerja pembuatan dinding beton/ bentonite di bawah tanah	129
Gambar 4.46	Penggalian *canal* atau sungai dengan *dragline*	130
Gambar 4.47	Penggalian *canal* atau sungai dengan *dragline*, arah track sesuai perjalanan dari *dragline*	131
Gambar 4.48	Sketsa *bucket* dari *dragline* dengan posisi *dumping*	133
Gambar 4.49	Penggalian *canal* atau sungai dengan *dragline*	134
Gambar 4.50	*Bucket* dengan bentuk clamsell	142
Gambar 5.1	Kurva kadar air vs berat isi kering yang menggambarkan pengaruh dari beberapa nilai kadar air terhadap kerapatan tanahnya.	146

Gambar 5.2	Sketsa *disk harrow*, garu berbentuk piringan cekung dan tajam, jika ditarik dengan traktor tanah dapat terbongkar dan membalik tanah tersebut	151
Gambar 5.3	Cara penyimpanan material tanah untuk urugan yang sudah memenuhi optimum moisture content, dipadatkan ringan dengan diinjak-injak buldoser, kemudian ditutup dengan plastik agar tidak terjadi penguapan dan menghindari tambahnya air karena hujan.	151
Gambar 5.4	Sketsa jenis mesin *self-propelled vibro-plate*	152
Gambar 5.5	Sketsa jenis mesin *manually operated rammer*	152
Gambar 5.6	Sketsa jenis mesin *three-wheel two-axle roller*	153
Gambar 5.7	Sketsa jenis mesin *two-wheel tandem roller*	153
Gambar 5.8	Sketsa jenis mesin *three-wheel tandem roller*	154
Gambar 5.9	Sketsa jenis mesin *pneumatic-tired roller*	154
Gambar 5.10	Sketsa jenis mesin *vibrating sheep's foot roller*	155
Gambar 5.11	Sketsa jenis mesin v*ibrating smooth drum roller*	155
Gambar 5.12	Tractor-pulled *sheep's foot rollers*	159
Gambar 5.13	Cara mengkombinasikan gradasi A dan gradasi B, sehingga memenuhi persyaratan gradasi yang diminta	166
Gambar 5.14	Mengkombinasikan tiga jenis bahan secara grafis	169
Gambar 5.15	Metode kerja *cement stabilization* pada pekerjaan jalan	173
Gambar 5.16	Potongan melintang *levee* atau tanggul	175
Gambar 5.17	Hubungan *moisture content* dengan *dry density*	175

Gambar 5.18	Metode pelaksanaan pemadatan pada bagian tepi dari tanggul tanah. Agar ujung tepi tanggul dari setiap lapis tanah yang dipadatkan dapat mempunyai kepadatan yang sama dengan bagian tengahnya, maka perlu dilebihkan sedikit, di mana kelebihannya tergantung dari kemiringan tanggul. Gambar tanpa skala.	177
Gambar 6.1	a. Cetakan beton untuk pembetonan secara umum. b. Cetakan beton untuk pembetonan yang tipis, dengan menggunakan form tie. Misalnya untuk pembetonan dinding. c. Untuk Cetakan beton dinding seperti terlihat pada gambar b, setelah berdiri perlu adanya balok-balok penyangga untuk mempertahankan agar dapat berdiri dengan kuat	181
Gambar 6.2	Tampak galian tanah untuk pondasi, dan susunan dari pondasi batu kali, rakitan besi beton untuk *sloof*, konstruksi cetakan beton untuk *sloof*, sebagian beton *sloof* yang telah dicor, sebagian susunan batu bata, rakitan besi beton untuk kolom, konstruksi cetakan beton untuk kolom.	182
Gambar 6.3	Pembuatan cetakan beton untuk balok ring; untuk rumah sederhana lebar balok ring dapat sama lebar dengan lebar batu bata, atau dapat lebih lebar jika balok ring tersebut harus menahan beban; rakitan besi dimasukan terlebih dahulu sebelum pemasangan cetakan betonnya, dan besi beton perlu diganjal bagian bawahnya dengan batu tahu, untuk selimut balok beton ring.	182

Gambar 6.4	Pembuatan cetakan beton untuk balok latai; di sini perlu dibuat struktur sedemikian sehingga masih dapat diadakan perubahan-perubahan yang kecil, yaitu dengan baji-baji kayu, hal ini adalah agar beton dapat tercetak tepat ukurannya seperti pada gambar. Jika menggunakan *scaffolding* dari besi sebagai gantinya baji-baji adalah dengan menggunakan *screw jack*	184
Gambar 6.5	Cetakan beton pada dinding yang membentuk sudut siku-siku, dengan menggunakan *form-tie* untuk menahan tekanan ke arah horisontal dari beton cair	185
Gambar 6.6	*Form-ties* untuk penahan desakan horisontal pada pengecoran beton dinding.	186
Gambar 6.7	Form ties untuk cetakan dinding beton jenis snap tie	187
Gambar 6.8	Form ties untuk cetakan dinding beton jenis coil tie	187
Gambar 6.9	a, b, & c. adalah metode *Climbing shuttering*, yaitu cetakan beton dengan perancahnya yang dapat dinaikkan setelah beton bagian bawahnya selesai di cor	189
Gambar 6.10	Bentuk dari form tie, setelah baut dipasang dan dikencangkan sehingga balok kayu vertikal dan horisontal terikat kuat pada beton yang sudah dicor	190
Gambar 6.11	Cetakan beton dan perancah/*scaffolding*, pada pengecoran balok dan plat lantai	190
Gambar 6.12	1.Cetakan beton untuk kolom dari kayu. 2. Cetakan beton untuk kolom dari besi yang dapat dibongkar pasang dan disesuaikan ukuran kolomnya. 3. Pada waktu pengecoran lantai, perlu dibuat kolom setinggi 10 CM untuk pegangan bawah dari cetakan beton kolom di atasnya dan juga untuk patokan posisi kolom.	191
Gambar 6.13	Bentuk dari dam beton bervariasi, ada daerah dengan permukaan tegak, dan ada daerah dengan permukaan yang hampir datar	193
Gambar 6.14	Bentuk Dam Sampean Baru di Jawa Timur, yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya. Tanda panah adalah daerah di mana pengecoran beton tanpa cetakan, tetapi hanya menggunakan mal kayu.	194
Gambar 6.15	Dengan kemiringan cetakan beton 20° dan tertutup dengan dinding cetakan, pemadatan beton cair dengan menggunakan *concrete vibrator* tidak dapat dilaksanakan, jika dipaksakan beton akan menjadi tidak padat atau keropos. Tetapi dengan kemiringan 70° *concrete vibrator* dapat berfungsi dengan baik	195
Gambar 6.16	Pemasangan mal kayu untuk pengecoran beton pada daerah yang landai.	195
Gambar 6.17	Pada pengecoran beton pada daerah agak datar tidak diberi cetakan beton, tetapi cukup dengan mal dari kayu, karena jika diberi tutup cetakan daerah tersebut tidak dapat dipadatkan dengan *concrete vibrator*. Perlu diperhatikan di sini untuk penambahan pengecoran blok beton berikutnya juga harus dipasang dua baris *form-tie*, untuk pengikatan mal kayu tersebut pada tahap pengecoran di atasnya (*form-tie* tidak tergambar)	196

Gambar 6.18	Pada permukaan beton pemberhentiannya diselesaikan dengan menggunakan kayu lurus agar pertemuan dengan beton baru di atasnya tampak merupakan garis lurus yang rapi.	197
Gambar 6.19	1. Metode kerja pemasangan perancah *climbing shuttering*, dengan menggunakan *carry-deck-crane*. 2. Gambar *carry-deck-crane*. Menurunkan *carry-deck-crane* dari blok beton setelah selesai pemasangan *climbing shuttering*, diangkat dengan *tower crane* atau dengan *cable-way*.	197
Gambar 6.20	*Climbing shuttering* terpasang, pada proyek Dam Sampean Baru yang dilaksanakan oleh PT Nindya karya. Tampak ada dua blok/ segmen yang siap dicor dengan beton. Lihat juga gambar 3 diagram cara pengecoran beton	198
Gambar 6.21	Contoh sebuah cetakan beton untuk balok dan plat lantai, dengan memakai perancah dari kayu. Saat sekarang perancah sudah menggunakan *scaffolding* dari besi (bandingkan dengan gambar 6.11)	199
Gambar 6.22	Hubungan antara kecepatan pengisian beton, tekanan maksimum dan temperatur pada pengecoran beton untuk dinding	204
Gambar 6.23	Hubungan antara kecepatan pengisian beton, tekanan maksimum dan temperatur pada pengecoran beton untuk kolom	205
Gambar 6.24	Pemasangan besi beton pada pertemuan empat balok dan sebuah kolom, di mana ada kemungkinan terjadi jarak bersih antara besi lebih kecil dari persyaratan minimum	211

	jaraknya, sehingga agregat kasar banyak yang menyangkut, mengakibatkan keropos di bawahnya.	
Gambar 6.25	a Potongan melintang contoh balok beton *sloof*. b. Gambar sepenggal rakitan besi beton untuk balok *sloof*. c. letak balok *sloof* di atas pondasi. d. Rakitan besi balok *sloof*.	212
Gambar 6.26	Contoh pembesian untuk balok latai; pembesian balok latai perlu adanya perhitungan kekuatan yang harus dapat dipertanggung jawabkan, karena balok latai harus menerima beban termasuk beban batu bata di atasnya	213
Gambar 6.27	Contoh bentuk tulangan besi beton yang harus dimasukan dalam Daftar Potong dan Bengkok, di mana harus diketahui panjang masing-masing yang dibutuhkan. Kemudian sisanya dipotong untuk yang lebih pendek. Dan terakhir sisa (c) dapat untuk penyangga antara rakitan besi atas dan bawah pada rencana pembesian plat dak	213
Gambar 6.28	1. Beton bentuk limas segi empat guna memberi jarak antara besi beton dengan dinding cetakan beton. 2. Idem butir 1 bentuk prisma segiempat terpancung. Beton ini di lapangan sering disebut sebagai batu tahu. 3. Cara pemasangan batu tahu diikatkan pada besi untuk menahan jarak dengan dinding cetakan beton. 4. Ganjal untuk menjaga jarak antara rakitan atas dan bawah, lihat juga gambar 5	214
Gambar 6.29	Daftar Potong Bengkok Besi	216
Gambar 6.30	Daftar Pembengkokan Besi	217
Gambar 6.31	Daftar Pemotongan Besi	218

Gambar 6.32	Proses pelaksanaan pekerjaan beton pada suatu proyek	219
Gambara 6.33	*Batcing plant* dengan kapasitas ± 70 M^3 per jam di Proyek Dam Sampean Baru Jawa Timur. a. dilengkapi dengan dua buah silo semen. Semen dari gudang dimasukan ke dalam silo dengan *screw conveyor*. b. sebuah *dump-truck* sedang diisi dengan adukan beton cair	226
Gambar 6.34	Bagan alur dari adukan beton di Proyek Dam Sampean Baru	227
Gambar 6.35	Ilustrasi dari b,b_0, dan b/b_0.	228
Gambar 6.36	Pengecoran beton di dalam air dengan pipa *tremie*	240
Gambar 6.37	Pengecoran beton di bawah permukaan air tanah pada pembuatan *diaphragm wall*	242
Gambar 6.38	Konsep tahapan-tahapan pengecoran berupa blok-blok beton berbentuk kotak-kotak pada struktur beton berupa kotak.	244
Gambar 6.39	Konsep tahapan-tahapan pengecoran bentuk struktur dam beton dapat berupa blok-blok seperti dalam gambar	244
Gambar 6.40	Bentuk *shear-key* kontak antara blok beton yang satu terhadap yang lain yang bersebelahan	246
Gambar 6.41	Cetakan beton bentuk *shear-key*. Bagian bawah sudah dicor beton. Tampak dibagian atas sudah terpasang *form-ties*, untuk pegangan *climbing shuttering* pada pengecoran beton berikutnya dibagian atas. Tampak pula *water-stop* yang sudah terpasang.	246
Gambar 6.42	Ilustrasi metode pelaksanaan peletakan beton secara masal	249
Gambar 6.43	*Green-cutting*	250
Gambar 6.44. a	Mesin penghampar beton untuk pembuatan jalan.	252
Gambar 6.44.b	Mesin penghampar beton	252
Gambar 6.44.c	Alat untuk perapian permukaan beton	253
Gambar 6.45	Pengangkutan beton jenis gerobak dorong	255
Gambar 6.46	*Bucket* untuk pengangkutan beton	256
Gambar 6.47	Pengangkutan beton dengan *cable-way* dan *bucket*	257
Gambar 6.48	*Cable-way* dengan posisi miring, pada Proyek Dam Sampean Baru	257
Gambar 6.49	Ilustrasi cara bekerja *cable-way*	258
Gambar 6.50	Pengangkutan beton cair dengan crane dan *bucket*	259
Gambar 6.51	Pengangkutan beton cair dengan tower dan *bucket* (bekerjanya seperti lift)	259
Gambar 6.52	Pemanfaatan alat bantu crane untuk mobilisasi peralatan di dalam proyek	260
Gambar 6.53	Cara pengikatan crane dengan bangunan pada setiap dua atau tiga lantai agar memperpendek panjang tekuk	261
Gambar 6.54	Talang peluncuran untuk pengangkutan beton	261
Gambar 6.55	Untuk menghindari jatuhnya beton yang terlalu tinggi, dipasang pipa *tremie*. Untuk mengurangi tinggi jatuhnya beton dibuat *belt-conveyor* bertangga	262
Gambar 6.56	Ilustrasi pengecoran beton dari *agitator-truck* ke mulut *pipa-tremie* dengan melalui talang	263
Gambar 6.57	Sketsa *dump truck* khusus untuk pengangkutan *air-entrained concrete*	264
Gambar 7.1	Contoh tiang pancang beton pra cetak	271

Gambar 7.2	Cara pengangkutan dengan lori dan pengangkatan oleh alat pancang menuju ke posisi pemancangan	272
Gambar 7.3	Tiang pancang pra cetak beton dengan bentuk lidah dan alur, berfungsi sebagai dinding penahan tanah.	273
Gambar 7.4	Penyambungan tiang pancang pipa besi, dengan memakai *inside sleeve* (selongsongan pada bagian dalam)	275
Gambar 7.5	Beberapa bentuk steel-sheet-piles	277
Gambar 7.6	Sketsa vibratory pile driver untuk pemancanga *steel sheet pile*	278
Gambar 7.7	Kasus membendung air dengan *steel-sheet-piles*, untuk rencana mengerjakan pilar di tengah sungai	279
Gambar 7.8	Pengambilan tiang pancang (gambar kiri); Penekanan tiang pancang (gambar kanan). Tiang pancang berukuran kecil bentuk penampang segi tiga	282
Gambar 8.1	Mesin pompa untuk pelaksanaan cement grout di proyek Dam Sampean Baru, Jawa Timur (atas). Dalam pemompaan tekanan harus selalu dikontrol melalui gauge (bawah)	288
Gambar 9.1	Tiang pancang pertama dipancang sesuai posisinya (kiri). Tiang pancang kedua setelah disambung dengan tiang pancang pertama, kemudian dipancang (kanan). Ujung-ujung tiang pancang sambungan dan pangkal tiang pancang awal dilengkapi dengan ring besi untuk penyambungan dengan las listrik (*splice*).	293
Gambar 9.2	Konstruksi pengamanan penggalian tanah untuk pengecoran beton *pile-cap*	294
Gambar 9.3	Penggalian tanah untuk *pile-cap* pondasi tiang pancang	295
Gambar 9.4	Lubang galian *pile-cap* setelah selesai penggalian dan selesai dicor lantai kerja *pile-cap* (atas). Pemotongan sisa panjang dari tiang pancang beton (bawah). Tampak tiang pancang *H-beam* dan penyangga horisontal *H-beam* untuk menahan tekanan tanah.	296
Gambar 9.5	Pengecoran untuk *pile-cap-pondasi* tiang pancang	297
Gambar 9.6	Pekerjaan perancah dan cetakan beton untuk pilar. Cetakan beton dari plat besi yang diperkuat dengan besi-besi siku yang saling dilas kuat. Lihat juga gambar 181	298
Gambar 9.7	Perakitan besi beton untuk pilar (a). Pemasangan perancah dan cetakan beton pilar (b). Pemasangan cetakan beton, karena beratnya, harus dengan menggunakan mesin *mobile-crane*. Lokasi di sekitar daerah Gondangdia Lama, tampak sebelah kiri masjid Cut Meutia	299
Gambar 9.8	Metode pengecoran beton dengan mobile-*concrete-pump*.	300
Gambar 9.9	Bentuk umum potongan segmen dari *balok-girder* (atas). *Stockpile* segmen (bawah) di daerah pabrik	302
Gambar 9.10	Transportasi dari pabrik pembuatan segmen ke lokasi pemasangan balok dengan membuat rel sementara ke arah bawah *gantry crane*, dan sebelumnya melewati rel dari PJKA. Tampak di latar belakang *gantry-crane* yang sudah terpasang di daerah antara sta Gondangdia dan sta Cikini. Di latar depan tampak	303

	dipasang wesel untuk rel yang menuju ke lokasi *gantry-crane*. Gambar sebelah kiri merupakan sketsa rel perjalanan menuju ke lokasi *gantry-crane*	
Gambar 9.11	Sketsa dari metode pengangkutannya dengan menggunakan *flat-wagon* (gambar a). Pengangkutan segmen *balok-girder* dari pabrik beton di daerah Tanah Abang menuju ke lokasi proyek dengan menggunakan flat wagon. Pemuatan di atas *flat-wagon* dengan *gantry-crane* (gambar b).	304
Gambar 9.12	Segmen-segmen dari pabrik diangkat, diputar horisontal, dan diletakan diatas *trolley*. Pada *erection girder* sudah terpasang 2 pasang rel untuk beberapa pasang *trolley* tersebut.	305
Gambar 9.13	Sketsa *erection-girder*	306
Gambar 9.14	*Erection-girder* yang terpasang di atas dua pilar dan pada ujungnya disangga dengan serangkaian *scaffolding*	306
Gambar 9.15	Tampak bentuk deretan beberapa pasang *trolleys* (tampak pihak sebelah kanan yang sudah terpasang di atas *erection girder*, untuk deretan sebelah kiri tampak sebagian di latar belakang)	307
Gambar 9.16	*Gantry-crane* meletakkan segmen-segmen beton di atas *trolleys* yang sudah terpasang di atas *erection girder*	307
Gambar 9.17	Tampak deretan *trolleys* (hanya tampak deretan sebelah kanan) yang sudah dimuati dengan segmen-beton-*balok-girder* di atas *erection-girder*. Di atas *erection-girder* perlu dipasang papan-papan untuk mempermudah petugas berjalan	308

Gambar 9.18	Sketsa Pemasangan 30-*Ton-center-hole-oil-jack*. Pada bagian plat di atas dan di dalam lubang, dari dua segmen yang akan dirapatkan.	309
Gambar 9.19	Sketsa 30-*Ton-center-hole-oil-jack*. Tampak terpasang sepasang pada plat lantai atas segmen balok. Selain itu juga harus dipasang pada bagian di dalam lobang segmen	310
Gambar 9.20	Kondisi setelah selesai pelaburan dengan *epoxy sikadur-W*, dan selesai penarikan dengan 30-*Ton-center-hole-oil-jack*, untuk seluruh segmen-segmen dari satu *balok-girder*.	310
Gambar 9.21	Fungsi merapatkan segmen-segmen dengan 30-*Ton-center-hole-oil-jack*, digantikan dengan mur dan baut panjang, yang ditahan dengan ganjal-ganjal besi. Mur dan baut ini akan dilepas nantinya setelah selesai penarikan kabel (*post tension*).	311
Gambar 9.22	*Stacked-grillage* dipasang di atas pilar	312
Gambar 9.23	Sketsa pemasangan *erection-nose* yang berlandaskan pada pilar. *Erection girder* dan *trolley* tidak ikut tergambar. Kondisi seperti ini *balok-girder*-beton masih tersangga oleh serangkaian *trolleys*	313
Gambar 9.24	Sketsa *erection-nose* tampak dari sisi berlawanan	314
Gambar 9.25	Pemasangan *erection-nose* di daerah Gondangdia; tampak baut-baut panjang yang diikat sampai ke dalam beton	314
Gambar 9.26	*Erection-nose; erection-girder;* dan *stacked-grillaged;* kondisi segmen-segmen sudah selesai penarikan kabel, dan *erection-girder* masih belum digeser ke span berikutnya	315

Gambar 9.27	*Erection-girder* sudah digeser ke depan. Karena penarikan kabel sudah dilaksanakan, maka *balok-girder*-beton sudah mampu hanya tertumpu pada stacked-grillaged yang terletak di atas kedua pilar.	315
Gambar 9.28	Kondisi awal, sebelum ada *balok-girder*-beton yang terpasang	319
Gambar 9.29	Pemasangan *balok-girder* pertama kali diatas 2 pilar. Lokasi masih dibawah *gantry crane*	320
Gambar 9.30	Pemasangan *balok-girder* beton yang pertama kali	321
Gambar 9.31	Pemasangan *balok-girder* pertama kali di atas 2 pilar. Lokasi masih di bawah *gantry crane*	322
Gambar 9.32		323
Gambar 9.33		324
Gambar 9.34		325
Gambar 9.35		326
Gambar 9.36		327
Gambar 9.37		328
Gambar9.38	Pemasangan *balok-girder* pertama kali di atas 2 pilar setelah ada *balok-girder*-beton yang terpasang	329
Gambar 9.39		330
Gambar 9.40		331
Gambar 9.41		332
Gambar 9.42	Kegiatan pemasangan rel di atas *balok-girder*-beton yang sudah selesai terpasang. Rel ini untuk pengangkutan segmen-segmen beton dari lokasi *gantry-crane* ke lokasi launching *balok-girder* berikutnya.	333

Gambar 9.43	Kegiatan pengangkutan segmen-segmen beton dari lokasi *gantry-crane* ke lokasi pemasangan *balok-girder*-beton yang berikutnya. Tampak di kanan dan kirinya sudah terpasang parapet. Mesin genset yang tampak di latar depan untuk memberikan tenaga listrik pada *electric-locomotive* yang menarik rangkaian *trolleys*.	334
Gambar 9.44	*Balok-girder* yang tampak di latar belakang selesai ditarik kabelnya (post tension), dan *erection girder* sudah digeser maju ke span berikutnya. *Balok-girder* yang tampak di latar belakang siap untuk diturunkan. Kejadian pada tanggal 18 Pebruari 1991.	335
Gambar 9.45	*Balok-girder* yang tampak di latar belakang selesai diturunkan. Di latar depan tampak *balok-girder* beton yang sudah selasai penarikan kabel (post tension), tetapi *erection-girder* belum digeser ke depan. Kejadian pada tanggal 26 Pebruari 1991.	335
Gambar 9.46	*Balok-girder* selesai ditarik kabelnya, *erection-girder* sudah digeser ke span berikutnya lagi, dan *balok-girder* siap untuk diturunkan/*jack-down*. Kejadian pada tanggal 28 Pebruari 1991.	336
Gambar 9.47	Cetakan Beton untuk Parapet	336
Gambar 9.48	Jadwal pemasangan *balok-girder*	337
Gambar 10.1	Pandangan depan sistem penggalian	339
Gambar 10.2	Pandangan atas sistem penggalian	340
Gambar 10.3	Jembatan penyeberangan sementara	341
Gambar 10.4	Sketsa *vibro-roller* yang kecil, ada yang menyebut *baby-roller*. Cara menjalankan seperti gambar di sebelah kiri	342

Gambar 10.5	Cara mengangkat agar pipa beton tidak mengalami cacat/rusak.	343
Gambar 10.6	Konstruksi alat pengangkat pipa beton, sebelah kiri dengan *flexible-belt* (sabuk), dan sebelah kanan dengan kait dari besi baja (*steel-hair-pin*). Dengan menggunakan sabuk lebih sulit cara memasang dan melepas, demikian juga tidak terjamin keamanannya	343
Gambar 10.7	Pemasangan pipa dengan menggunakan *steel-wire*, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)	344
Gambar 10.8	Pemasangan pipa dengan menggunakan *steel-hair-pin*, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)	344
Gambar 10.9	*Jacking-pipe*	346
Gambar 10.10	Cara pengeboran dan penggalian tanah dengan *jacking-pipe system*	346
Gambar 10.11.	Lubang awal untuk memasukkan *boring-head* (*jacking-pit*) dan lubang pada akhir pekerjaan pipe-jacking untuk mengeluarkan *boring-head* (receiving-pit)	347
Gambar 10.12	Cara memasukkan *boring-head* pada awal pekerjaan ke dalam *jacking-pit*; kemudian *boring-head* ditekan oleh dua buah *main-jack* masing-masing 200 Ton atau dengan jumlah kekuatan 400 Ton, dengan melalui bentuk frame yang disebut *yoke*	348
Gambar 10.13	*Boring-head* (kiri) di dalam *jacking-pit*. Sebelah kanan bawah adalah lorry untuk pengambilan tanah hasil galian *boring-head* (lihat juga gambar 10.10). Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)	348
Gambar 10.14	Pandangan di dalam *boring-head*. Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)	349
Gambar 10.15	Metode kerja awal pengeboran dengan *boring-head* menerima desakan dari *main-jack* melalui yoke; bersamaan dengan itu cutter pada ujung depan *boring-head* juga harus mulai dijalankan	350
Gambar 10.16	Bagian belakang dari *boring-head* setelah mendekati dinding, dan ruang sudah cukup untuk meletakkan sebuah *jacking-pipe*, *yoke* ditarik mundur.	350
Gambar 10.17	Crane siap memasukkan *jacking-pipe* yang pertama (lead-*jacking-pipe*).	351
Gambar 10.18	Lead-*jacking-pipe* ditekan, dan bagian depan *boring-head* berputar untuk menggali tanah didepannya.	351
Gambar 10.19	Menurunkan pipa beton ke dalam *jacking-pit*. Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)	352

Gambar 10.20	*Main-jack* tampak dari atas. Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur - Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA - Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)	352
Gambar 10.21	*Main-jack* menekan pipa melalui *yoke*. Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur - Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/ RSEA - Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)	353
Gambar 10.22	Pemasangan pipa Ø 2" untuk komunikasi pada *boring-head* dan *lead pipe*	353
Gambar 10.23	Penyambungan pipa Ø 2" untuk komunikasi antara *jacking-pipe*	354
Gambar 10.24	Cara pemasukan bahan pelumas bentonite	356
Gambar 10.25	Penutupan bahan grout pada ujung depan dan ujung belakang, dengan bahan beton mutu K125 tebal 20 cm.	358
Gambar 10.26	Pemasangan *intermediate-jack, steel-sleeve-ring,* dan *ram*	360
Gambar 10.27	Sketsa cara kerja intermediate jacking	361
Gambar 11.1	Metode pengecoran beton dengan menggunakan *concrete-pump*, karena harus melalui medan yang sulit untuk dijangkau dengan peralatan	363
Gambar 11.2	Metode pengecoran beton dengan menggunakan *concrete-pump* untuk mengatasi tingginya lokasi pekerjaan; jenis lain dengan menggunakan *mobile-concrete pump*	364
Gambar 11.3	Metode pengecoran beton dengan menggunakan crane, untuk mengatasi tinggi bangunan yang sudah melewati kemampuan jangkauan *concrete-pump*.	364
Gambar 11.4	Sketsa contoh bentuk basement dengan metode kerja pembuatan basement dengan cara pelaksanaan sistem *top-down*. Pada latar belakang kanan, plat lantai *basement-1* sengaja diberi lubang untuk memberi kesempatan excavator dan loader dapat menggali tanah dan masuk ke dalam *basement-2*	366
Gambar 11.5	Dinding penahan tanah	368
Gambar 11.6	Pengeboran untuk dinding penahan tanah, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)	368
Gambar 11.7	Pengecoran *bored-pile*/dinding basement, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)	369
Gambar 11.8	Dinding penahan tanah tampak saat setelah penggalian tanah *basement-1*, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)	369
Gambar 11.9	Pelaksanaan pembuatan *diaphragm-wall* yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya di Proyek Dam Sampean Baru.	371
Gambar 11.10	*Diaphragm-wall* sudah dicor di dalam tanah, dan tampak hasil penggalian lebih rapih dengan menggunakan clam-shell.	371
Gambar 11.11	Mesin bor/*auger*, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)	372

Gambar 11.12	Urutan cara kerja pelaksanaan pembuatan *bored-pile*	374
Gambar 11.13	Pelaksanaan pengeboran tanah pembuatan *bored-pile*	375
Gambar 11.14	Sketsa *King-post* yang sudah tertanam di dalam beton *bored-pile*	375
Gambar 11.15	*King-post* dengan studs yang terpasang kuat dengan las listrik, siap dimasukan ke dalam beton *bored-pile* yang masih cair; pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)	376
Gambar 11.16	Sketsa penggalian tanah, sampai elevasi yang secukupnya, agar dapat dipasang cetakan beton untuk balok dan plat lantai basement -1 (lihat juga gambar 11.20)	377
Gambar 11.17	Pelaksanaan pembuatan cetakan beton untuk balok dan plat lantai *basement-1*, di atas tanah yang telah selesai digali; pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)	378
Gambar 11.18	Sketsa penggalian tanah *basement-2*, setelah pekerjaan balok dan plat lantai *basement-1* selesai dicor dan sudah mampu menerima beban alat-alat berat dan beban-beban lainnya. Perlu dibuat *void* pada lantai *basement-1* dan juga ramp untuk jalan masuknya loader.	379
Gambar 11.19	Penggalian tanah *basement-2*. Tampak kolom *King-post* (besi baja *H-beam*) masih menyangga plat lantai *basement-1*; pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)	380
Gambar 11.20	Sketsa kondisi *basement-2* setelah selesai penggalian tanah, dan selesai pelaksanaan pembuatan lantai *basement-2*. Tampak *void* dari lantai *basement-1* untuk jalan masuknya alat berat, belum dicor. Kolom *King-post* belum dicor beton	380
Gambar 11.21	Perakitan besi beton untuk kolom, di mana *King-post* ikut dicor beton dan menjadi bagian dari kolom tersebut (kolom komposit); pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)	381
Gambar 11.22	*King-post* telah dicor beton, menjadi bentuk kolom komposit untuk bangunan sesuai rencana (lihat juga gambar 11.21).	382
Gambar 11.23	Kegiatan pekerjaan struktur di atas sudah dapat dimulai, sementara masih penyelesaian *basement-1* dan *basement-2*	382

-oo0oo-

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Daftar kegiatan (lihat Gambar 2.12)	27
Tabel 4.1	Produk/output ideal dari backhoe, dalam M^3 per jam (*bank-measure volume*)*	67
Tabel 4.2	Faktor konversi untuk kedalaman penggalian dan sudut putaran dari *backhoe**	69
Tabel 4.3	Faktor untuk kondisi manajemen dan kondisi lapangan kerja	71
Tabel 4.4	Output dari buldoser dalam M^3 dari ukuran tanah asli (*bank measure*) dan hubungannya dengan kapasitas dari blade**	75
Tabel 4.5	Menentukan "waktu satu putaran/*cycle time*" dan "jumlah trip per jam" dari alat track loader dengan bermacam variasi jarak pengangkutan	82
Tabel 4.6	Produksi volume tanah per jam efektif kondisi bank yang dapat dihasilkan oleh track loader, dari beberapa jenis ukuran bucket, dan beberapa jenis jarak pengangkutan, dalam M^3	83

Tabel 4.7	Menentukan "waktu satu putaran/*cycle time*" dan "jumlah trip per jam" dari alat wheel loader dengan bermacam variasi jarak pengangkutan; .	86
Tabel 4.8	Produksi volume tanah per jam efektif kondisi bank yang dapat dihasilkan oleh wheel loader, dari beberapa jenis ukuran bucket, dan beberapa jenis jarak pengangkutan, dalam M^3	88
Tabel 4.9	Perkiraan elemen-elemen dari fixed time untuk wheel scrapers (dalam menit)	92
Tabel 4.10	Jarak lubang pengeboran dari beberapa jenis tanah keras	104
Tabel 4.11	Penjelasan istilah batuan dari tabel 4.10	105
Tabel 4.12	Jangkauan Kerja Tipikal dari Dragline dengan Counterweights Maksimum	135
Tabel 4.13	Hasil galian yang ideal pada kedalaman yang optimum dengan ukuran bank (bank measure) per jam dari dragline dengan menggunakan boom pendek, dalam M^3, dengan putaran 90°	136
Tabel 4.14	Faktor pengaruh kedalaman galian dan sudut pemutaran mesin terhadap hasil produksi dari dragline.	138
Tabel 4.15	Berat dan dimensi *bucket* dari *dragline*	140
Tabel 5.1	Pengembangan tanah dari tanah aslinya menjadi tanah longgar	147
Tabel 5.2	Rasio perubahan volume dari beberapa jenis tanah	157
Tabel 5.3	Alat Pemadat yang Sesuai dengan Jenis Tanah	158
Tabel 5.4	Tipe Mesin Pemadat dan Jenis Tanah yang Cocok	165
Tabel 5.5	Analisa saringan dua bahan dan persyaratannya	166
Tabel 5.6	Kombinasi tiga bahan dengan coba-coba agar masuk dalam persyaratan	168

Tabel 6.1	Hubungan antara kecepatan pengisian beton, tekanan maksimum dan temperatur pada pengecoran beton untuk dinding	201
Tabel 6.2	Hubungan antara kecepatan pengisian beton, tekanan maksimum dan temperatur pada pengecoran beton untuk kolom	202
Tabel 6.3	Lendutan Maksimum dan Momen Maksimum	206
Tabel 6.4	Volume ageregat kasar yang dipadatkan per unit volume dari beton	229
Tabel 6.5	Kebutuhan Semen dan air yang diperlukan dalam 1 m^3 beton struktur tanpa bahan tambah *air-entraining agent*	230
Tabel 6.6	Kebutuhan Semen dan air yang diperlukan dalam 1 m^3 beton struktur dengan bahan tambah air-entraining agent	232
Tabel 8.1	Beberapa perubahan sifat dari semen *grout* jika ditambahkan *admixture*	287

-oo0oo-

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN MENTERI PEKERJAAN UMUM (Djoko Kirmanto)		v
KATA PENGANTAR		vii
NOMENKLATUR		ix
DAFTAR GAMBAR		xiii
DAFTAR TABEL		xli
DAFTAR ISI		xlv
BAB 1	PENDAHULUAN	1
BAB 2	MANAJEMEN PROYEK DAN RENCANA KERJA PELAKSANAAN	7
BAB 3	PENENTUAN POSISI BANGUNAN DAN PENGUKURAN	41
BAB 4	PEKERJAAN TANAH/*EARTH WORK AND EARTH MOVING*	57
BAB 5	PEMADATAN TANAH, STABILISASI TANAH DAN PEMBUATAN TANGGUL TANAH	143
BAB 6	PEKERJAAN BETON	177
BAB 7	TIANG PANCANG DAN ALAT PANCANG	267
BAB 8	*FOUNDATION GROUTING*	283

BAB 9 KASUS PEMBANGUNAN JALAN LAYANG KERETA API DI JABOTABEK 291
BAB 10 KASUS PEMASANGAN PIPA BETON DIAMETER BESAR UNTUK AIR BAKU DI JAKARTA 339
BAB 11 KASUS PEMBANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT BANYAK 363
DAFTAR PUSTAKA 385
FAKTOR KONVERSI SATUAN 389
TENTANG PENULIS 391

-oo0oo-

1

PENDAHULUAN

1.1 Pengetahuan tentang Pekerjaan dan Jenis Bangunan

Jika seorang atau sebuah badan hukum sebagai calon pemilik bangunan (*owner*) mengetahui akan kebutuhan suatu bangunan/proyek, maka biasanya yang bersangkutan akan mengadakan kerja sama dengan konsultan/perencana bangunan untuk mengetahui kemungkinannya dapat sesuai dan dapat terlaksana atau tidak. Jika dari pengetahuan konsultan membenarkan kemungkinannya dapat dibangun, konsultan dapat meneruskan pekerjaannya untuk membuat perencanaan, perancangan dan spesifikasi dan biasanya juga untuk supervisi dari kegiatan proyek tersebut. Merupakan tugas dari konsultan untuk merancang bangunan-bangunannya yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan pemilik bangunan, yang relatif mudah dilaksanakan dan dengan harga murah yang wajar. Selama dalam proses perencanaan dan pelaksanaan tidak menutup kemungkinan ada modifikasi agar ada pengurangan biaya dengan tidak mengurangi tujuan dan mutu bangunan. Jadi sebagai konsultan harus menguasai metode pelaksanaan agar secara terus menerus merencanakan metode kerja yang efisien dalam pelaksanaan, sehingga dapat mengurangi biaya.

Dalam industri konstruksi kita mengenal beberapa jenis bangunan, antara lain adalah, bangunan gedung (rumah sederhana sampai gedung bertingkat tinggi), bangunan jalan (*flexible pavement, rigid pavement, jalan kricak, AWCAS-all weathered compacted aggregate subgrade,* dan lain-lain), bangunan lapangan terbang, bangunan terowongan, bangunan jalan kereta api, bangunan jembatan (jembatan rangka baja, jembatan rangka kayu, jembatan beton, jembatan rangka beton, jembatan *composite* dan lain-lain), bangunan jalan layang (jalan layang kereta api, jalan layang kendaraan bermotor), bangunan bendungan, bangunan saluran irigasi, bangunan silo, dan lain lain yang saat ini sangat banyak jenisnya sesuai dengan kebutuhan manusia dan kemajuan teknologi.

Setiap jenis bangunan mempunyai metode pelaksanaan yang secara garis besarnya berlain-lainan, tetapi untuk bagian-bagian pekerjaannya pada prinsipnya adalah hampir sama, misalnya kegiatan pembetonan untuk pekerjaan gedung dengan kegiatan pembetonan untuk pekerjaan bendungan hampir sama. Pelaksanaan pemotongan tanah pekerjaan jalan dengan pemotongan tanah pekerjaan *basement* juga hampir sama. Yang membedakan adalah metode kerja pelaksanaannya dari kegiatan bagian-bagian pekerjaan itu karena perbedaan dalam hal volume, kondisi medan, dan kemungkinan ada persyaratan yang harus dipenuhi. Tetapi walaupun demikian dengan kemajuan teknologi, banyak peralatan yang dapat berfungsi lebih dari satu jenis bagian kegiatan pekerjaan. Misalnya peralatan *jacking system*, alat ini dapat berfungsi menggali terowongan dan sekaligus peletakan/pemasangan pipa di dalam terowongan tersebut. Hal ini akan dibahas pada bab selanjutnya.

Dalam pembangunan hampir selalu ada lima grup institusi yang selalu terkait, yaitu,

- pemilik/*the owner*
- pengguna bangunan/*the users*
- perencana/*the designers*

- pelaksana/*the executors*
- institusi terkait/*public authorities and agencies*

Dalam kaitannya dengan metode pelaksanaan suatu bangunan, biasanya yang selalu harus terlibat adalah perencana dan pelaksana. Pelaksana adalah badan hukum yang biasa disebut *contractor*/pemborong, yang dalam bahasa Indonesia disebut kontraktor. Kontraktor mendapatkan pekerjaan untuk melaksanakan bangunan melalui *tender* atau lelang. Setelah kontraktor menang dalam tender dan ditunjuk untuk menjadi pelaksana pembangunan bangunan tersebut, maka setelah penanda tanganan kontrak dengan pemilik bangunan, kontraktor dapat mulai melaksanakan bangunan tersebut. Dalam melaksanakan bangunan ini maka dengan keahliannya dan pengalamannya kontraktor akan membuat semua bagian-bagian kegiatan dari bangunan dengan metode kerja yang paling tepat dan efisien. Tanpa metode kerja yang efisien maka kontraktor akan mengerjakan dengan waktu yang lama dan dengan biaya pelaksanaan yang tinggi.

Dalam pekerjaan bangunan unsur-unsur yang terlibat yaitu pemilik bangunan, pengguna bangunan, perencana bangunan dan pelaksana bangunan, harus memahami juga masalah perundang-undangan dan peraturan-peraturan pemerintah yang berlaku, di antaranya adalah,

- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 1992, tentang Perumahan dan Pemukiman.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002, tentang Bangunan Gedung.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 36 tahun 2005, tentang Peraturan Pelaksanaan Undang Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 36 Tahun 2005, tentang Pengadaan Tanah bagi Pelaksanaan Pembangunan untuk Kepentingan Umum, di mana peraturan ini telah diadakan

perubahan dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 65 Tahun 2006, tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 36 Tahun 2005 tentang Pengadaan Tanah Bagi Pelaksanaan Pembangunan untuk Kepentingan Umum.

- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006 Tanggal 1 Desembar 2006, tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung.
- Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Nomor 21 Tahun 2006, tentang Pedoman Pemberian Saran Teknis Izin Pemboran dan/atau Pengambilan/Pemanfaatan Air Bawah Tanah.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan pembahasan dalam tulisan ini adalah agar para pembaca yang belum pernah terjun dalam praktek di lapangan, dan juga para mahasiswa semester akhir, akan mendapatkan dasar pelajaran untuk dapat melaksanakan langsung di lapangan. Selain itu juga agar sarjana teknik sipil yang baru lulus dapat mengetahui jenis-jenis pekerjaan yang tidak sempat diberikan pada bangku kuliah. Sebagai contoh cara pelaksanaan di lapangan untuk pekerjaan-pekerjaan yang langka, misalnya suatu pengecoran beton secara masal, metode pelaksanaan bagaimana dan dengan jenis alat apa penggalian tanah dapat aman dan menghasilkan secara efisien, pemasangan pipa beton di dalam tanah dengan cara *horizontal jacking*, pembetonan di bawah permukaan air dan pembuatan *diaphragm-wall*, dan lain-lain. Metode pelaksanaan sangat menentukan waktu pelaksanaan dan biaya operasionalnya, oleh karena itu bagi mereka yang belum pernah terjun di lapangan perlu terlebih dahulu mengikuti dan melihat senior mereka di lapangan, agar memahami seluk beluk cara pelaksanaan di lapangan. Perlu pembaca sadari juga bahwa ada jenis pekerjaan yang harus diselesaikan secara serius, yaitu pekerjaan yang sifatnya non teknis, seperti misalnya masalah sosial masyarakat, masalah lingkungan, menghadapi

penduduk setempat yang akan mendapat resiko akibat kegiatan lapangan dengan polusi suara dan polusi udara. Sudah barang tentu dalam pembahasan di sini adalah dengan dasar pengalaman penulis di lapangan dan juga teori yang menyangkut pelaksanaan.

-oo0oo-

2

MANAJEMEN PROYEK DAN RENCANA KERJA PELAKSANAAN

2.1 Kegiatan-kegiatan Awal Pekerjaan Dalam Suatu Proyek

Setiap menghadapi suatu kegiatan proyek, pertama-tama perlu memahami dokumen kontrak (*contract document*). Isi dari dokumen kontrak berupa surat perjanjian antara pemilik bangunan dan kontraktor, persyaratan umum dan administrasi atau *general specification*, dan persyaratan teknis atau *technical specification*. Dari dokumen kontrak ini kita dapat menjabarkan metode pelaksanaannya. Untuk metode pelaksanaan dari bagian-bagian kegiatan pekerjaannya, perlu mengetahui biaya, durasi atau lama waktu pelaksanaan, mutu dan jumlah bahan yang akan dipakai, serta memperhitungkan kemampuannya dalam hal jumlah dan mutu dari sumber daya yang dimiliki, yaitu sumber daya manusia, sumber daya keuangan dan sumber daya alat/mesin. Sehingga dalam manajemen pelaksanaan kegiatan suatu proyek dikenal dengan *man, money, machine, material, method and management*. Biasanya pada awal kegiatan suatu proyek diharuskan segera membuat rencana,

a. *Main schedule* atau jadwal pelaksanaan keseluruhan. *Main schedule* biasanya sudah merupakan lampiran dalam dokumen kontrak, tetapi dalam proses selama pelaksanaan dapat dirubah dengan tanggal akhir pelaksanaan tetap tidak berubah; *main schedule* ini biasanya berupa *bar chart* dan *time grid diagram/ net work planning*, ataupun bentuk-bentuk lain untuk proyek-proyek tertentu.
b. *Detailed schedule*, yaitu jadwal pelaksanaan dari bagian-bagian pekerjaan sesuai urutannya dalam *main schedule*, yang dibuat dalam bulanan dan mingguan untuk pegangan para pengawas lapangan, dan bahkan para pengawas lapangan juga membuat jadwal harian/*daily-schedule*.
c. *Material schedule*, yaitu jadwal kebutuhan material bangunan, jadwal pemakaian material, dan jadwal pendatangan material.
d. *Equipment schedule*, yaitu jadwal kebutuhan peralatan, jadwal pemakaian peralatan, jadwal pendatangan peralatan.
e. *Man power schedule*, yaitu jadwal kebutuhan tenaga manusia mulai dari pekerja sampai *Project Manager*.
f. Metode kerja pelaksanaan, yaitu metode kerja dari seluruh kegiatan bagian-bagian pekerjaan, sebagai contoh, metode kerja pelaksanaan bagian pekerjaan penggalian tanah, pengecoran beton, *dewatering*, dan lain-lain. Dalam metode kerja ini harus jelas urutan kerjanya, penggunaan jenis dan kapasitas alat, kombinasi alat, pengamanan pekerjaan, jadwal kerja, letak alur dari jalan kerja pengangkutan dan gambar-gambar sketsa yang jelas. Demikian juga dengan metode kerja dari bagian-bagian pekerjaan lainnya. Kemudian metode kerja dari bagian-bagian pekerjaan tersebut secara keseluruhan digabung menjadi Usulan Metode Kerja dari Kegiatan Pekerjaan keseluruhan.
g. *Job lay out*, berupa gambar rencana tata letak dari bangunan-bangunan permanen, letak bangunan-bangunan sementara, letak barak pekerja, letak *site office* yaitu kantor *owner*, kantor konsultan dan kantor kontraktor di lapangan, letak bedeng-bedeng

work-shop untuk pekerjaan kayu, besi beton, letak *stone crusher* jika diperlukan, letak gudang material, letak bengkel, letak rumah genset, letak penyimpanan kendaraan dan alat berat, letak stok material pasir, kerikil, batu bata dan lain-lain, letak sumur bor jika ada, letak kamar mandi & WC, dan jalur jalan kerja untuk pengangkutan material dari luar, pengangkutan material ke lokasi pekerjaan dan lain-lainnya, yang digambar dengan skala tertentu untuk tujuan tertentu.
h. Membuat pagar keliling untuk menghindari masuknya orang umum yang dapat membahayakan dirinya terhadap alat-alat berat yang sedang bekerja, untuk keamanan dan untuk memberi batas yang jelas dari wewenang proyek.
i. Membangun bangunan-bangunan sementara, yaitu *site office*, bedeng-bedeng kerja, gudang sementara, *stock pile* untuk material-material, rumah genset, jalan masuk/keluar sementara.
j. *Shop drawing*. Gambar kerja secara *detail* dari masing-masing elemen-elemen struktur dan gambar kerja secara *detail* dari konstruksi sementara untuk menunjang struktur bangunan yang permanen, misalnya gambar struktur perancah untuk cetakan beton, gambar cetakan betonnya, gambar rencana pemotongan tanah atau penggalian tanah, gambar rencana pengalihan sungai, dan lain-lain; gambar kerja ini harus selalu dibuat sebelumnya untuk diperiksakan konsultan supervisi dan *safety-engineer*, pada setiap bagian-bagian pekerjaan tersebut akan dimulai.
k. Membuat gambar *contour/original ground level*. Gambar *original ground level* atau biasa disingkat dengan OGL ini harus disetujui bersama oleh kontraktor dan konsultan dan jika perlu *owner*, hal ini adalah sangat penting karena jika ada perubahan permukaan tanah (*cut and fill*), maka perhitungan *volume cut and fill* dapat dihitung dengan dasar gambar *original ground level* tersebut.

l. Mencari lokasi *quarry* terdekat. Untuk proyek-proyek yang besar dan jauh dari kota atau pada daerah suburban, misalnya kegiatan pekerjaan bendungan, jalan raya, dan juga jika banyak menggunakan material lokal, misalnya pasir, kerikil, tanah urug dan lain-lain, maka lebih effisien untuk menambang sendiri dengan menyewa daerah penambangan tersebut, sudah barang tentu material dari *quarry* yang didapat harus diadakan investigasi terlebih dahulu di laboratorium, apakah sesuai dengan spesifikasi dalam *contract document*.

m. Membuat struktur organisasi. Struktur organisasi dari masing-masing, yaitu pemilik, konsultan dan kontraktor, harus segera dibuat. Semua pihak yakni pemilik, konsultan dan kontraktor harus mempunyai struktur organisasi dari masing-masing pihak yang lain, hal ini untuk kepentingan intern masing-masing institusinya dan juga untuk kepentingan koordinasi dari semua pihak tersebut dalam menyelesaikan pekerjaannya.

n. Menentukan sumber daya manusia, yaitu menentukan nama-nama pejabat untuk mengisi masing-masing jabatan dalam struktur organisasi dari masing-masing pihak.

2.2 Penyusunan Jadwal

Suatu proyek selalu dipecah dalam beberapa kegiatan konstruksi, untuk memudahkan dalam merencanakan segala sesuatunya, yaitu dalam merencanakan biaya/kebutuhan dana, waktu pelaksanaan/penjadwalan, metode kerja, kebutuhan alat, kebutuhan personil, dan perencanaan lainnya. Sebagai contoh, dalam kegiatan pembuatan *pile-cap*, akan dipecah dalam beberapa kegiatan, yaitu,

a. pemancangan *sheet piles* untuk penahan tanah
b. penggalian tanah
c. pemotongan tiang pancang
d. pengecoran beton lantai kerja
e. perakitan besi untuk *pile-cap*

f. pembuatan cetakan beton untuk *pile-cap*
g. pengecoran beton *pile-cap*
h. perawatan beton/*curing*
i. pencabutan *sheet-piles*
j. urugan kembali

Dalam mengestimasi *progress* atau kemajuan pekerjaan, pembuat perencanaan pelaksanaan harus menghitung volume dari setiap kegiatan pekerjaan tersebut dalam satuan unit, m^1, m^2, m^3, kg dan lain-lain. Juga harus menentukan harga per satuan unit volume tersebut, yang sudah harus dimasukan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi harga satuan tersebut. Faktor-faktor harga tersebut sangat banyak dan bervariasi. Beberapa yang sering ditemui adalah,

- faktor regional/daerah
- faktor cuaca/iklim
- faktor operator alat-alat berat
- faktor teknik pelaksanaan
- faktor kondisi sosial, ekonomi, politik dan keamanan
- faktor yang dipersyaratkan dalam dokumen kontrak

Dengan cara analisa, bagian perencanaan tersebut juga harus dapat menghitung waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan setiap kegiatan pekerjaan tersebut, berarti juga harus dapat menentukan tanggal mulai masing-masing kegiatan dan tanggal selesainya. Dalam membuat jadwal kegiatan, harus ditentukan pula hubungan urut-urutan dari antara masing-masing kegiatan. Sebagai contoh dari pekerjaan *pile-cap* di atas, pekerjaan beton tidak dapat dilaksanakan sebelum selesai pekerjaan perakitan besi beton, di sini berarti bahwa, jika karena keterkaitan hubungan urut-urutan untuk memulai pekerjaan beton sampai lebih lama, maka jelas bahwa pekerjaan perakitan besi tidak perlu terlalu buru-buru, atau dikatakan kegiatan pekerjaan perakitan besi mempunyai waktu yang mengambang (*float time*), dengan perkataan lain waktu un-

tuk mulai dan waktu untuk selesai kegiatan perakitan besi dapat ditunda dengan tidak mempengaruhi penyelesaian dari pekerjaan kegiatan utamanya.

Dengan demikian, setelah ditentukan semuanya, bagian perencanaan dapat membuat suatu jadwal waktu keseluruhan dari semua kegiatan pekerjaan, yang dapat berupa,

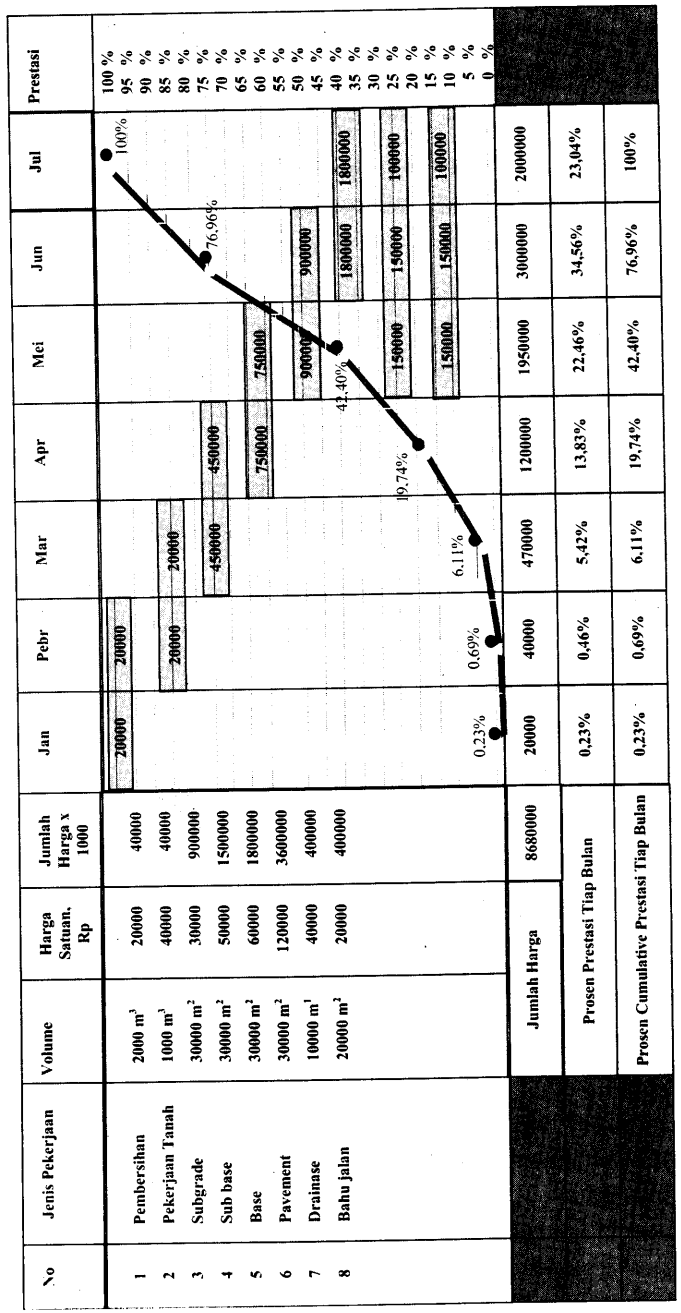
1. diagram batang (*the bar chart*), yang biasanya dilengkapi dengan *S-curve*
2. metode jalur kritis (*the critical path method*)
3. metode diagram kisi waktu (*the time-grid diagram*)

Diagram batang (*bar chart*)

Diagram batang ini sangat sederhana dan mudah digunakan untuk mengontrol kemajuan dari pekerjaan. Dalam contoh sederhana (dalam pekerjaan sebenarnya tidak mungkin sederhana seperti contoh ini) diambil pekerjaan jalan yang terdiri dari beberapa kegiatan kerja, yaitu,

- Pembersihan (*clearing and grubbing*)
- Pekerjaan Tanah (Galian dan timbunan tanah)
- Pekerjaan *subgrade*
- Pekerjaan *subbbase*
- Pekerjaan *Base*
- Pekerjaan *pavement* (*gelar asphalt concrete*)
- Pekerjaan *drainase*
- Pekerjaan bahu jalan

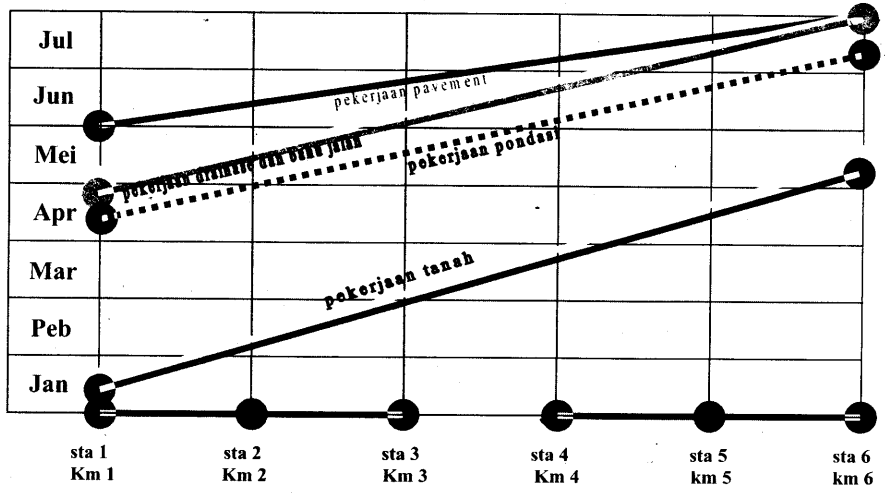
Biasanya *bar chart* dilengkapi juga dengan prestasi dari masing-masing kegiatan pada setiap kolom waktu, sehingga dapat dibuat pula grafik prestasi terhadap waktu (Gambar 2.1). Dengan demikian dapat digambarkan grafik prestasi, yang biasa disebut dengan *S - curve*, untuk rencana sesuai dokumen kontrak dan untuk kenyataan. Jika grafik prestasi kenyataan di lapangan di bawah grafik prestasi rencana, maka dikatakan prestasi kegiatan terlambat, jika di atasnya dikatakan prestasinya lebih cepat.



Gambar 2.1 *Diagram batang. Garis merah adalah Grafik Prestasi (S-curver)*

Jika dalam dokumen kontrak disebutkan jumlah harga bahan yang masuk ke lokasi proyek dapat dihitung sebagai sebagian dari prestasi, maka kadang-kadang prestasi bahan ini dapat mengangkat prestasi dari kegiatannya, pada awal kegiatan.

Untuk pekerjaan jalan kadang-kadang kontrol di lapangan menggunakan diagram batang yang menunjukkan keterkaitan antara panjang jalan yang dinyatakan dalam station (*sta*), dan waktu pengerjaannya (Gambar 2.2). Jika seperti kegiatan di atas dibagi dalam beberapa kegiatan saja, yaitu kegiatan pekerjaan tanah (meliputi pembersihan, pekerjaan tanah dan *subgrade*, garis warna coklat), kegiatan pekerjaan pondasi (meliputi *subbase* dan *base*, garis titik-titik hitam), kegiatan pekerjaan *pavement* (berupa garis warna hitam), dan kegiatan pekerjaan *drainase* dan bahu jalan (berupa garis biru), maka akan menjadi diagram batang seperti dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Diagram hubungan antara panjang jalan terhadap waktu penyelesaian kegiatan pekerjaan di lapangan*

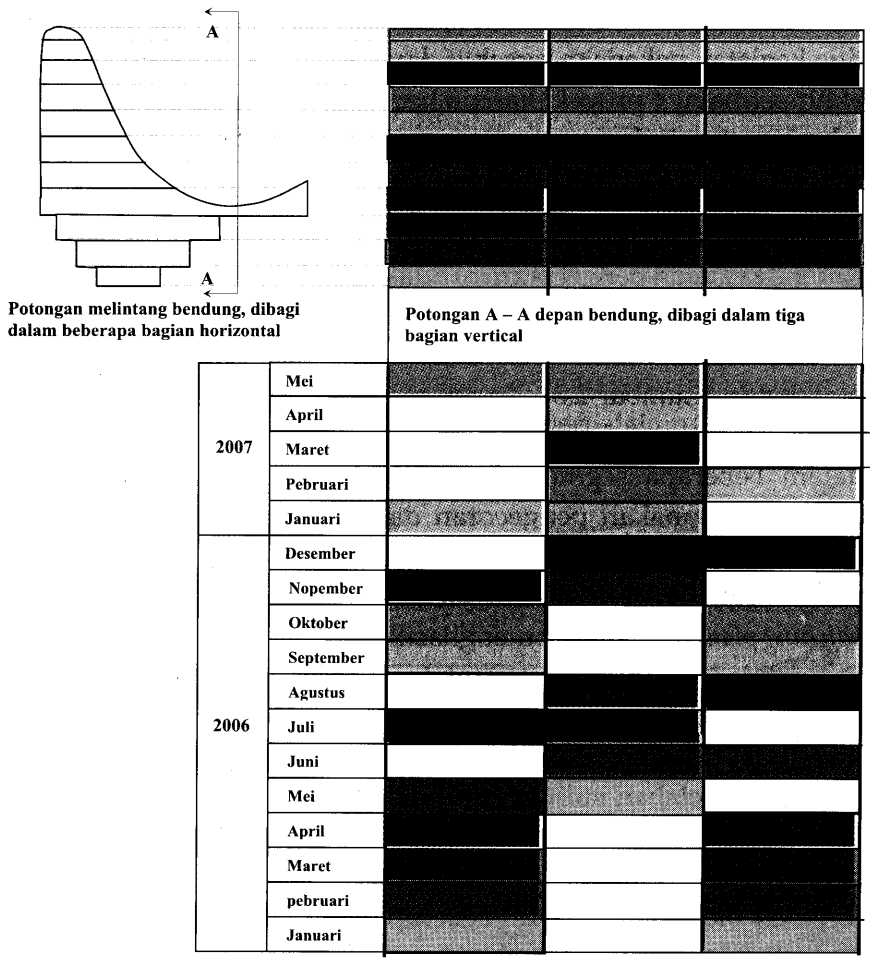
Perlu diketahui bahwa garis-garis tersebut tidak mungkin akan berpotongan. Jika misalnya garis pekerjaan tanah sampai berpotongan

dengan garis pondasi, maka *sta* di mana garis tersebut berpotongan, akan saling bekerja bersama. Padahal seharusnya pekerjaan tanah harus selesai terlebih dahulu baru pondasi bisa dilaksanakan. Kecuali dalam kasus garis *pavement* dan garis *drainase*, di mana kedua kegiatan pekerjaan tersebut dapat saling bekerja bersama pada akhir selesainya proyek, karena kedua kegiatan pekerjaan tersebut lokasinya terpisah.

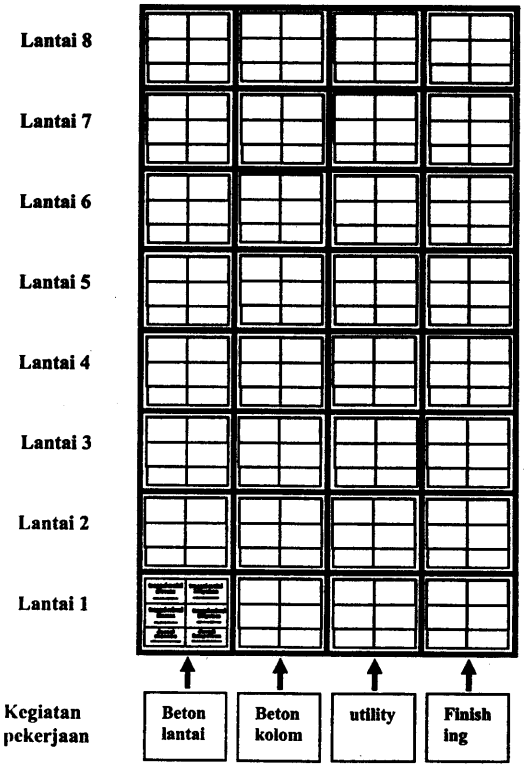
Dalam pelaksanaan pekerjaan pengecoran bendung di lapangan, pembuatan jadwal waktu berupa diagram batang agak berlainan. Karena kegiatan pengecoran ini dilaksanakan per blok, maka jadwal waktu dibuat berupa diagram blok yang merupakan hubungan antara lokasi blok beton dan waktu pelaksanaan pengecoran blok beton (Gambar 2.3). Dalam metode kerja pelaksanaan pengecoran beton untuk bangunan bendung terpaksa harus dibagi-bagi dalam beberapa segmen dengan volume secukupnya sehingga dapat dilaksanakan pengecoran dalam waktu satu hari. Volume per blok yang dimaksud berkisar antara 400 m^3, dengan kecepatan pengecoran berkisar antara 50 m^3 per jam, sehingga kapasitas *batching plant* harus dapat menghasilkan beton berkisar 70 m^3 per jam. Dengan jadwal ini sangat mudah untuk mengontrol pelaksanaan di lapangan. Dalam jadwal tampak pengecoran tidak simetris, hal ini karena masalah teknis pelaksanaan di lapangan. Misalnya blok yang bersebelahan sulit untuk dilaksanakan kegiatan pengecoran dalam satu lapis secara bersamaan, hal ini karena masalah teknis pelaksanaan kegiatan pembuatan cetakan betonnya. Demikian juga terpaksa blok dilaksanakan beberapa lapis ke atas, baru kemudian blok di sebelahnya. Mungkin juga ada masalah lain yang dapat ditemukan di lapangan sehingga pengaturan blok-blok beton harus direncanakan ulang.

Untuk bangunan gedung bertingkat tinggi, dapat menggunakan penjadwalan secara matriks (Gambar 2.4). Dengan sumbu horisontal adalah kegiatan pekerjaan, dalam contoh ini sangat di-

sederhanakan, yaitu pengecoran beton lantai, pengecoran beton kolom, pemasangan utilitas bangunan, dan *finishing*.



Gambar 2.3 *Diagram batang untuk jadwal pengecoran beton pada bangunan bendung, yang dibagi dalam beberapa segmen-segmen secara horisontal dan tiga bagian secara vertikal. Setiap lapis horisontal mempunyai warna sendiri. Diagram menunjukkan hubungan antara waktu dan lokasi pengecoran*



Gambar 2.4 *Penjadwalan secara matriks untuk pekerjaan bangunan gedung bertingkat tinggi*

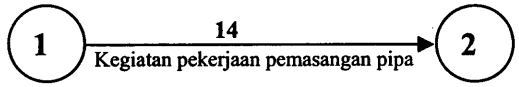
Dan sumbu vertikal adalah nomor lantai atau tingkat dari bangunan. Secara kebetulan penjadwalan cara ini merupakan gambar gedung bertingkat. Setiap kotak ditulis data-data mengenai tanggal mulai rencana, tanggal mulai kenyataan, tanggal selesai rencana, tanggal selesai kenyataan, durasi rencana dan durasi kenyataan, dari setiap bagian kegiatan dan setiap lantai. Dalam *monitoring* di lapangan kotak-kotak ini dapat diberi warna untuk bagian-bagian kegiatan yang sudah selesai dikerjakan, sehingga dapat tampak dengan jelas kemajuan pekerjaannya.

Tetapi untuk para pelaksana di lapangan, kegiatan harian dan mingguan lebih mudah dengan menggunakan diagram batang seperti dijelaskan di atas. Dengan demikian dapat lebih mudah pula untuk membuat rencana prestasi secara harian dan mingguan.

Metode Jalur Kritis (*The Critical Path Method*)

Dengan metode jalur kritis, seperti sudah disebutkan sebelum ini, bahwa kita perlu membagi-bagi seluruh kegiatan dari suatu proyek menjadi bagian-bagian kegiatan yang sejenis atau sekelompok kegiatan. Dan bagian-bagian kegiatan ini perlu kita tentukan. Kemudian masing-masing bagian kegiatan kita perhitungkan lama waktu penyelesaiannya. Satuan waktu penyelesaian ini dapat berupa hari, minggu, atau bulan dan seterusnya. Kita juga harus menentukan urutan waktu dari masing-masing bagian kegiatan, misalnya dalam pemasangan pipa *drainase*, maka urutan waktu kegiatannya adalah galian tanah selesai terlebih dahulu, baru kemudian dapat dilakukan pemasangan pipa, dan hal ini tidak mungkin terbalik. Dalam metode jalur kritis ini ada dua konsep yang perlu diketahui, yaitu

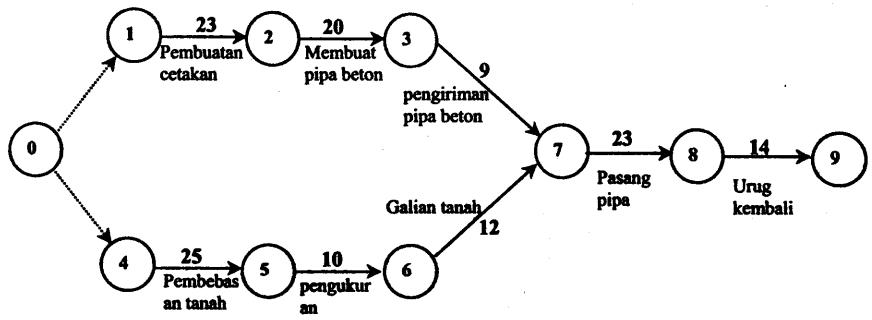
- Kegiatan atau aktivitas, adalah kegiatan pekerjaan tertentu yang memerlukan waktu tertentu pula. Misalnya kegiatan penggalian tanah; kegiatan pemasangan pipa dan lain-lain. Biasanya digambarkan dengan anak panah.
- *Event* atau kejadian, yaitu kejadian tertentu yang terjadi pada waktu tertentu pula, sehubungan dengan pembahasan buku ini, adalah merupakan awal suatu kegiatan dan atau akhir suatu kegiatan, dan biasanya digambarkan dengan bentuk bulatan.



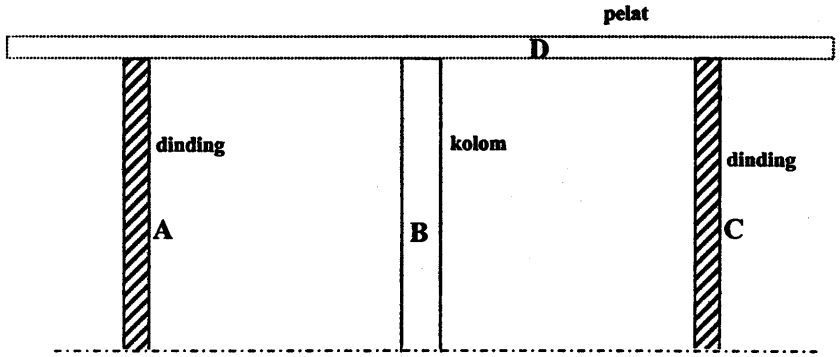
Gambar 2.5 *Suatu kegiatan pekerjaan pemasangan pipa yang dimulai dengan event 1 dan diakhiri dengan event 2, dan memerlukan waktu selama 14 satuan waktu, dapat berupa hari, minggu, bulan dan sebagainya.*

Dalam Gambar 2.5 dikatakan, kegiatan pekerjaan pemasangan pipa yang memerlukan waktu penyelesaiannya selama 14 (satuan

waktu bisa hari, minggu, atau bulan), yang dimulai dari *event* 1 dan diakhiri dengan *event* 2. Di sini akan diberi suatu contoh tentang pemasangan pipa di dalam tanah dan penggabungan jaringannya (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 *Urut-urutan kegiatan dan penggabungan jaringan pada suatu proyek pemasangan pipa air dalam tanah, yang digambarkan secara sederhana.*

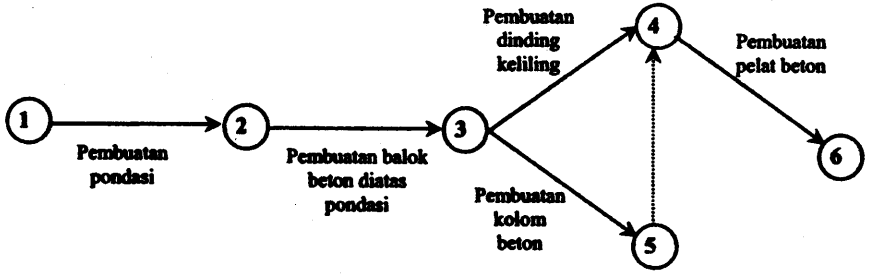


Gambar 2.7 *Pengecoran plat lantai dapat dilaksanakan setelah dinding keliling selesai dikerjakan dan juga kolom tengah selesai dikerjakan.*

Kegiatan semu (aktivitas tanpa waktu)/*zero-time activities*, kadang-kadang disebut *dummy*, adalah merupakan kegiatan tanpa waktu. Aktivitas ini untuk menunjukkan urutan yang benar secara

teknis. Kegiatan ini bisa terjadi jika ada dua kegiatan yang mutlak diperlukan, sebelum kegiatan berikutnya yang memerlukan kedua kegiatan sebelumnya tersebut, yang harus selesai secara bersamaan. Ambil suatu contoh, misalnya pengecoran plat beton pada suatu rumah (Gambar 2.7).

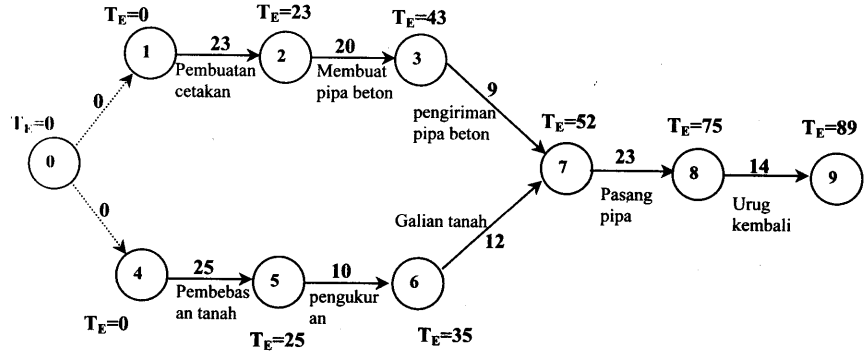
Bagan Gambar 2.8 menunjukkan bahwa kegiatan 4 - 6 (pembuatan plat beton) tidak mungkin dilaksanakan sebelum kegiatan 5 - 4 (kegiatan semu) dilaksanakan, dan kegiatan 5 - 4 adalah setelah selesai kegiatan 3 - 5. Artinya bahwa untuk melaksanakan kegiatan 4 - 6 (pembuatan plat beton) harus selesai terlebih dahulu kegiatan pembuatan dinding dan kolom tengah. Seandainya tidak ada kegiatan semu 5 - 4 maka akan terjadi pengecoran beton plat tanpa ada kolom tengah yang menyangganya. Hal ini tidak mungkin karena plat sudah diperhitungkan harus disangga kolom di tengah.



Gambar 2.8 ***Jaringan kegiatan pelaksanaan pengecoran beton plat pada pembangunan sebuah rumah.***

Waktu tercepat yang dapat diharapkan **(T_E) adalah waktu tercepat yang dapat diharapkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan. Waktu tercepat yang dapat diharapkan (T_E) sudah tertera pada masing-masing *event*, seperti terlihat dalam Gambar 2.9. Misalkan angka ditunjukkan adalah dalam satuan waktu minggu. Jadi dengan menjumlahkan secara kumulatif dari setiap kegiatan yang berurutan maka akan didapat waktu tercepat yang dapat diharapkan (T_E) dalam minggu. Tetapi jika kita lihat pada *event* 7, waktu**

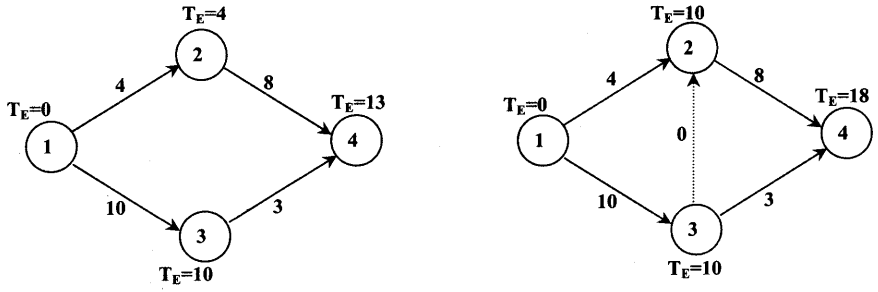
tercepat yang dapat diharapkan (T_E) dari jalur 6 - 7 adalah 35 + 12 = 47 minggu; sedangkan jika dilihat dari jalur 3 - 7 adalah 43 + 9 = 52 minggu. Ini artinya pada *event* 7 waktu tercepat yang dapat diharapkan (T_E) tetap 52 minggu; jadi jalur 6 - 7 walaupun pada *event* 7 hanya perlu 47 minggu, tetap harus menunggu sampai 52 minggu agar dapat melanjutkan kegiatan pekerjaan selanjutnya yaitu jalur 7 - 8 yaitu kegiatan pemasangan pipa. Jadi untuk menentukan waktu tercepat yang dapat diharapkan untuk suatu *event* adalah waktu yang dibutuhkan yang terlama yang dihitung secara kumulatif dari permulaan *event*.



Gambar 2.9 *Jaringan dengan cara menentukan waktu tercepat yang dapat diharapkan (T_E)*

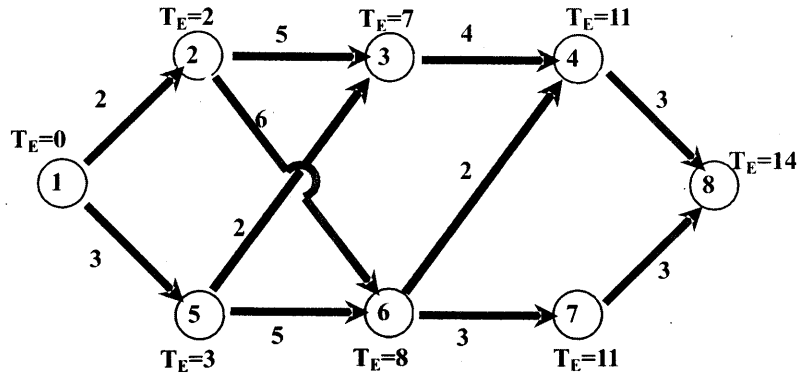
Pengaruh aktivitas tanpa waktu. Dengan adanya aktivitas tanpa waktu dapat mempengaruhi waktu tercepat yang dapat diharapkan untuk suatu *event*. Artinya keharusan suatu *event* diselesaikan terlebih dahulu walaupun *event* tersebut dari suatu kegiatan semu, sehingga dapat merubah waktu tercepat yang dapat diharapkan untuk suatu *event*. Kita ambil suatu contoh pada Gambar 2.10.

Dalam Gambar 2.10 jaringan sebelah kiri, *event* 4 mempunyai T_E = 13. Sedangkan pada jaringan sebelah kanan, setelah dipasang kegiatan semu 3 - 2, maka *event* 4 mempunyai T_E = 18.



Gambar 2.10 *Pengaruh kegiatan semu pada suatu jaringan*

Jalur kritis. Jalur kritis adalah jalur pada suatu jaringan yang mempunyai waktu paling lama untuk kegiatan-kegiatannya, dimulai dari *event* awal hingga *event* yang terakhir. Tetapi tidak menutup kemungkinan pada jaringan yang sangat kompleks, akan terjadi jalur kritis lebih dari satu jalur (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 *Banyak kemungkinan pada suatu jaringan yang kompleks, akan mempunyai beberapa jalur yang kritis*

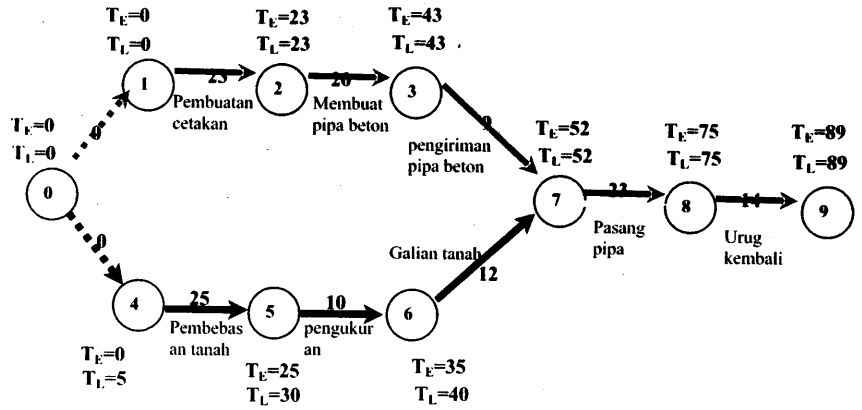
Dalam Gambar 2.11 terdapat tiga jalur kritis, yaitu pada kegiatan-kegiatan,

1 - 2 - 3 - 4 - 8 memerlukan penyelesaian waktu 14 minggu
1 - 2 - 6 - 7 - 8 memerlukan penyelesaian waktu 14 minggu
1 - 5 - 6 - 7 - 8 memerlukan penyelesaian waktu 14 minggu

dan beberapa jalur yang tidak kritis, yaitu pada kegiatan-kegiatan,

1 - 5 - 3 - 4 - 8 memerlukan penyelesaian waktu 12 minggu
1 - 5 - 6 - 4 - 8 memerlukan penyelesaian waktu 13 minggu
1 - 2 - 6 - 4 - 8 memerlukan penyelesaian waktu 13 minggu

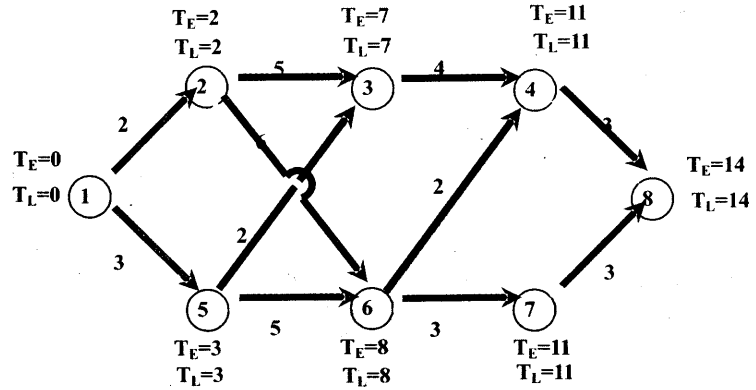
Waktu paling lambat yang diperkenankan. Waktu paling lambat yang diperkenankan (T_L) adalah jangka waktu terlama dari suatu *event* tertentu yang masih diperkenankan, tetapi tidak mengakibatkan terlambatnya jaringan. Kita lihat Gambar 2.12, jalur 8 - 9, pada *event* 9 adalah merupakan *event* selesainya suatu proyek, yaitu selama 89 minggu jika diukur dari *event* awal. Padahal lama kegiatan 8 - 9 adalah 14 minggu, jadi waktu paling lambat yang diperkenankan (T_L) pada *event* 8 adalah = 89 - 14 = 75 minggu. Demikian juga pada *event* 7, T_L = 75 - 23 = 52 minggu.



Gambar 2.12. *Waktu tercepat yang diharapkan dan waktu paling lambat yang masih diperkenankan, diambil dari gambar 2.9. Satuan waktu dalam minggu*

Perhatikanlah dari hasil perhitungan ini, pada Gambar 2.12, ternyata pada jalur kritis selalu $T_E = T_L$.

Sekarang perhatikan pada Gambar 2.13. Kita akan mencari T_L pada *event* 6 berdasarkan jalur 7 - 6, $T_L = 11 - 3 = 8$ minggu. Berdasarkan jalur 4 - 6, $T_L = 11 - 2 = 9$ minggu. Kalau sampai kita ikuti T_L pada *event* 6 adalah pada minggu ke 9, maka pada *event* 7, di mana kegiatan jalur 6 - 7 memerlukan waktu 3 minggu, akan mencapai 9 + 3 = 12 minggu, demikian seterusnya dan hal ini akan menjadikan proyek terlambat. Kita lihat juga pada *event* 5. Berdasarkan jalur 6 - 5, $T_L = 8 - 5 = 3$ minggu; tetapi berdasarkan jalur 3 - 5, $T_L = 7 - 2 = 5$ minggu. Kita tetap harus mengambil jalur 6 - 5, yaitu $T_L = 3$ minggu. Jadi jika ada pertemuan pada *event* yang bersangkutan maka T_L diambil yang terkecil dengan menghitung berbalik arah menuju ke *event* awal; sedangkan T_E selalu diambil yang terbesar dengan menghitung arah menuju ke akhir *event*.



Gambar 2.13 *Waktu tercepat yang diharapkan dan waktu paling lambat yang masih diperkenankan, diambil dari gambar 2.11. Satuan waktu dalam minggu*

Waktu luang. Waktu luang adalah sejumlah waktu yang jika ditambahkan pada jalur yang dimaksud, tidak akan mengakibatkan terlambatnya kegiatan pekerjaan pada jalur tersebut. Besarnya waktu luang adalah = $T_L - T_E$. Waktu luang ini sangat penting, karena dari pihak manajemen dapat mengurangi sumber daya dari kegiatan yang terdapat dalam jalur tersebut, dan dipindahkan ke

jalur yang kritis. Pada sepanjang jalur kritis T_L selalu sama dengan T_E, sehingga jalur kritis tidak mempunyai waktu luang. Dari pihak manajemen harus selalu memonitor dan mengendalikan semua kegiatan pada jalur kritis, sebab dengan keterlambatan pada jalur kritis akan mengakibatkan keterlambatan pada akhir proyek.

Sebagai pengelola suatu proyek harus sangat perhatian terhadap pengendalian waktu, biaya, dan mutu. Karena kadang-kadang ketiga hal tersebut sangat erat hubungannya. Sebagai contoh, waktu yang melebihi ketentuan dalam dokumen kontrak akan menambah biaya, berupa penambahan biaya tidak langsung/*over-head*, bahkan denda keterlambatan per harinya. Demikian juga mutu sangat erat hubungannya dengan biaya. Selain masalah yang lain, setiap hari pengelola proyek harus mengikuti perkembangan dari,

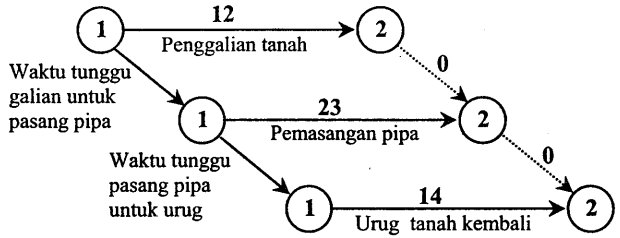
- Setiap *event* yang sedang ada kegiatannya. Semua kegiatan-kegiatan yang menuju ke *event*, perlu dianalisa.
- Waktu luang pada *event* yang sedang ada kegiatan, berarti menganalisa masalah waktu tercepat yang bisa diharapkan dan waktu paling lambat yang masih diperkenankan (T_E dan T_L).

Sehubungan dengan pembahasan tentang penjadwalan ini, masih ada beberapa cara untuk mengatasi waktu dalam pelaksanaan suatu kegiatan proyek.

- *Pengaturan sumber daya*. Sumber daya di sini dapat menyangkut sumber daya keuangan, sumber daya orang/tenaga, dan sumber daya peralatan. Pengelola proyek harus dapat memanfaatkan semua sumber daya pada kegiatan jalur yang tidak kritis, untuk dipindahkan ke tempat kegiatan jalur yang kritis. Dengan demikian banyak kemungkinan kegiatan pada jalur kritis dapat memperpendek waktu penyelesaiannya, dan kegiatan pada jalur yang tidak kritis akan bertambah waktu penyelesaiannya karena sumber dayanya berkurang, tetapi harus diatur masih dalam batas yang tidak melebihi T_L. Sebagai contoh sejumlah armada alat-alat berat pada kegiatan jalur yang

tidak kritis dipindah sebagian ke tempat kegiatan jalur yang kritis. Demikian juga untuk sumber daya lainnya.

- *Menyusun kegiatan menjadi kombinasi seri dan paralel.* Ambil suatu contoh pemasangan pipa di dalam tanah. Jika metode kerja dengan cara seri, yaitu selesai kegiatan menggali terlebih dahulu, kemudian baru memasang pipa, hal ini sangat memerlukan waktu yang sangat lama. Tetapi jika dengan cara kegiatan paralel, secara simultan atau secara bersama-sama, hal ini juga tidak mungkin. Maka yang ideal metode kerja dengan cara kombinasi seri dan paralel. Kegiatan penggalian harus dilaksanakan sampai cukup untuk pemasangan beberapa pipa dahulu, jadi tidak perlu menunggu sampai galian tanah selesai. Waktu menunggu galian secukupnya juga harus diperhitungkan, karena jika kecepatan pemasangan pipa lebih cepat dari kecepatan penggaliannya, maka cara perhitungannya adalah selesainya penggalian tanah masih mendekati ujung pemasangan pipa. Demikian juga untuk kegiatan urugan tanah, perlu ada waktu menunggu agar pemasangan pipa cukup panjang sehingga dapat dimulai urugan tanah, jadi tidak perlu menunggu sampai selesainya pemasangan pipa (lihat Gambar 2.14). Cara ini banyak digunakan pada kegiatan pekerjaan yang terletak pada satu lokasi dan mempunyai urut-urutan yang selalu harus diikuti. Misalnya kegiatan pekerjaan pemasangan pondasi pada bangunan yang luas, dengan urutan komponen-komponen kegiatannya sebagai berikut. 1. gali tanah untuk pondasi 2. pemadatan tanah dasar podasi 3. urugan pasir padat 4. pasang batu kosong 5. pasang pondasi batu kali. Contoh lain, pada proyek jalan layang, dengan urutan komponen-komponen kegiatannya sebagai berikut. 1. pemancangan pondasi tiang pancang 2. galian untuk *pile-cap* 3. beton *pile-cap* 4. kolom 5. launching balok.



Gambar 2.14 *Kegiatan-kegiatan pekerjaan galian tanah, pemasangan pipa, dan urugan tanah kembali, yang dikerjakan secara kombinasi seri dan paralel*

Untuk menghadapi suatu proyek yang besar dan mempunyai kegiatan-kegiatan yang sangat banyak, perlu digunakan komputer, sehingga bila terjadi perubahan waktu pada salah satu kegiatan karena adanya masalah di lapangan dapat selalu dimonitor oleh pengelola proyek.

Untuk mempermudah dalam pengendalian waktu, biasanya semua items yang disebutkan di atas dibuat dalam suatu tabel, lihat Tabel 2.1.

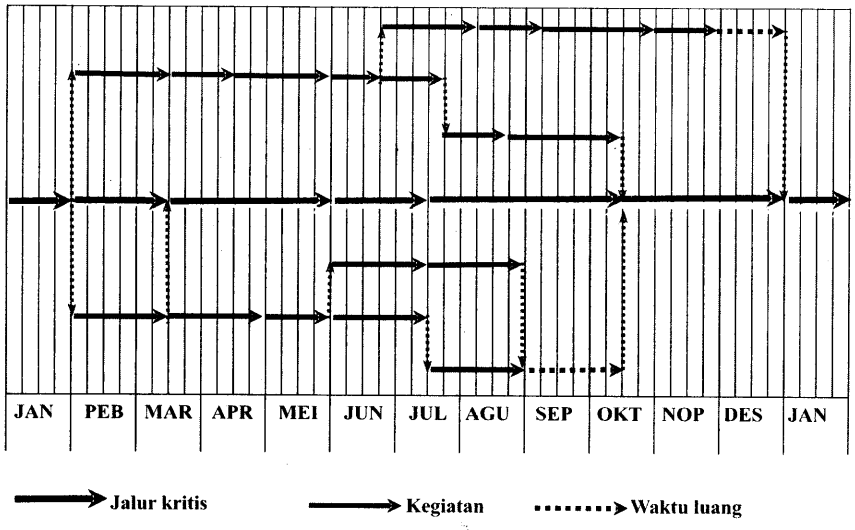
Tabel 2.1 *Daftar kegiatan (lihat Gambar 2.12)*

Event	Waktu tercepat yang diharapkan (T_E)	Waktu paling lambat yang masih diperkenankan (T_L)	Waktu luang ($T_L - T_E$)	Keterangan
0	0	0	0	Kritis
1	0	0	0	Kritis
2	23	23	0	Kritis
3	43	43	0	Kritis
4	0	5	5	
5	25	30	5	
6	35	40	5	
7	52	52	0	Kritis
8	75	75	0	Kritis
9	89	89	0	Akhir

Metode Diagram Kisi Waktu (*the time-grid diagram*)

Pada metode jalur kritis anak panah menunjukkan urutan kegiatan dan panjang anak panah tidak ada pengaruhnya. Tetapi pada diagram kisi waktu, anak panah menunjukkan urutan kegiatan dan panjang anak panah menunjukkan durasi dari kegiatan (Gambar 2.15). Garis vertikal juga hanya menunjukkan urutan kegiatan. Garis putus-putus horisontal menunjukkan waktu luang. Karena diagram ini juga menunjukkan urut-urutan kegiatan, maka sebelum membuat diagram ini juga harus membuat,

- Daftar jenis-jenis kegiatan yang ditentukan
- Perkirakan durasi dari masing-masing kegiatan
- Penentuan urut-urutan kerjanya
- Gambar dengan memplotkan anak panah kegiatan sesuai urut-urutannya dengan kegiatan lainnya yang terkait.
- Penomoran dari masing-masing *event*



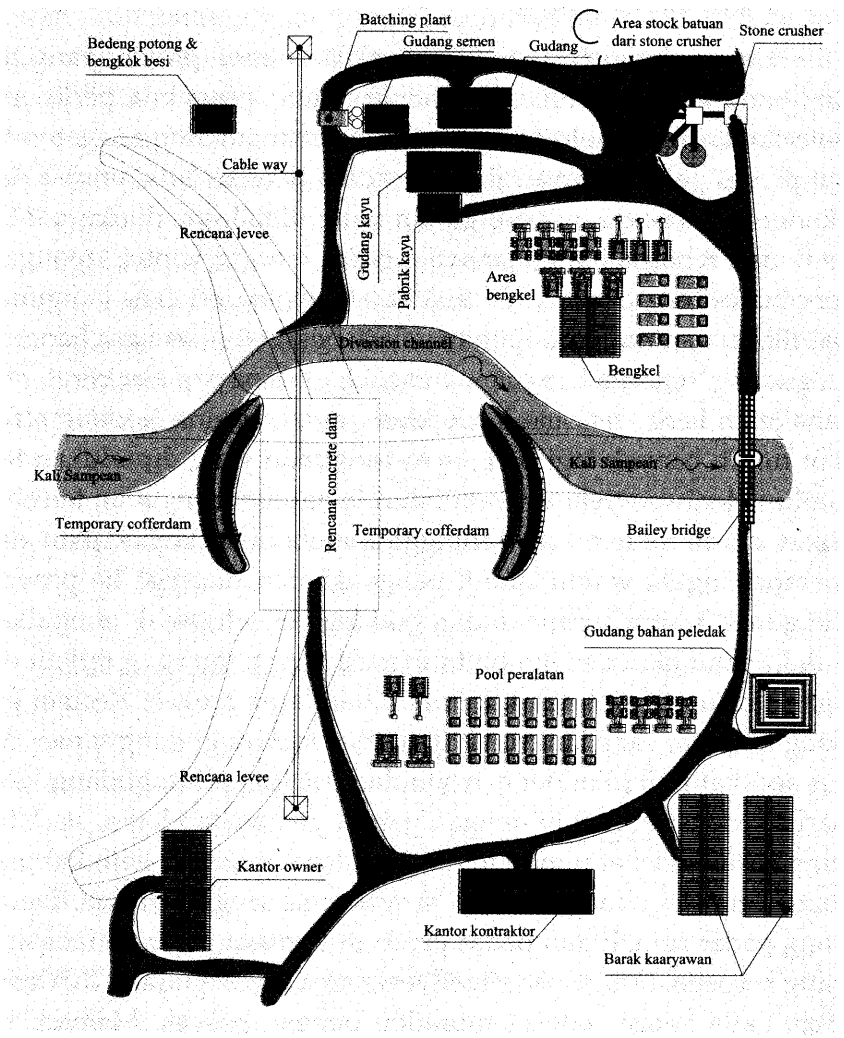
Gambar 2.15 *Diagram kisi waktu (time-grid diagram)*

Dengan diagram kisi waktu ini dapat lebih mudah untuk merekayasa diagram agar mendapatkan pengurangan durasi dari suatu kegiatan dan pengalihan sumber daya dari kegiatan yang satu ke kegiatan yang lain.

2.3 *Job Layout* (Tata Letak dari Rencana Pembangunan)

Dalam mengelola suatu proyek, terutama proyek yang besar, pada awal sebelum dimulai kegiatan, pengelola perlu merencanakan tata letak dari rencana pembangunannya, agar selama proses pembangunan dapat berjalan dengan baik, efisien dan ekonomis. Rencana pembangunan yang dimaksud di sini adalah letak dari rencana bangunannya sendiri, rencana kantor lapangan, rencana bedeng pekerja, rencana barak pekerja, rencana bangunan pabrik kayu, rencana bangunan pabrik besi beton, rencana bangunan gudang, rencana bangunan bengkel, rencana *pool* alat berat, rencana jalan kerja, rencana letak *tower crane*, rencana *batching plant*, dan masih banyak lagi bangunan-bangunan yang diperlukan tergantung jenis proyeknya. Letak dari bangunan-bangunan tersebut harus diatur sedemikian sehingga memberikan kemudahan dan mempersingkat waktu untuk pengangkutan material ke proyek. Bangunan kantor lapangan dan gudang persediaan, di tempatkan sedekat mungkin dengan pintu masuk, agar tamu yang terkait dengan urusan proyek tidak masuk dalam area proyek. Kecuali gudang material yang langsung dipakai, misalnya gudang semen harus sedekat mungkin dengan silo dari *batching plant*; gudang kayu harus sedekat mungkin dengan pabrik pembuatan kayu; *stock* batuan harus sedekat mungkin dengan *stone-crusher*. Dalam kasus di mana pembangunan pada area proyek yang sangat terbatas, daerah yang padat rumah dan padat penduduk, maka perlu penanganan yang berbeda. Di sini perlu menyewa area untuk gudang dan *workshop*, pada lokasi sedekat mungkin dengan proyek. Material beton dikirim dengan *agitator truck* dari *batching plant* di luar proyek. Pembuatan cetakan beton, potong dan bengkok besi beton, dan pe-

rakitan besi beton dikerjakan di luar area proyek. Rencana tata letak ini harus digambar dengan skala yang benar, dan para juru ukur akan menetapkan lokasi sesuai rencana tata letak tersebut. Gambar 16 adalah job *layout* dari Proyek Dam Sampean Baru, Jawa Timur.



Gambar 2.16 *Job layout Proyek Dam Sampean Baru, desa Tapen Jawa Timur*

2.4 Pengendalian Proyek

Pengendalian proyek selama masa konstruksi adalah hal yang sangat penting. Pada dasarnya pengendalian merupakan bentuk batasan dan persyaratan yang sudah ditentukan terlebih dahulu, bentuk pelaporan secara periodik, dan bentuk penanggulangan jika terjadi penyimpangan terhadap batasan dan persyaratan tersebut. Batasan dan persyaratan yang dimaksud adalah jika berupa waktu maka batasannya adalah tanggal selesai; jika berupa biaya batasannya berupa *budget* atau nilai uang yang terpakai untuk operasional; jika berupa mutu maka batasannya adalah persyaratan mutu. Pelaporan secara periodik adalah merupakan bentuk pelaporan yang dapat berupa harian, mingguan, atau bulanan. Pelaporan ini harus bisa dikemas sehingga dapat dibandingkan dengan batasan dan persyaratan. Kita akan membayangkan jika mengendarai mobil, pada *desk board* telah tersedia peralatan pengendalian, salah satu di antaranya adalah *speedometer*. Pada *speedometer* terdapat angka batasan. Jika 100 km/jam adalah batas kecepatan yang boleh kita tempuh, ini merupakan batasan yang kita tentukan. Kemudian juga terdapat jarum yang dapat bergerak setiap saat sesuai kecepatan, ini merupakan laporan kepada pengemudi untuk memberikan penanggulangannya. Jika jarum sudah kelewat dari 100 km/jam, maka pengemudi perlu menanggulangi dengan cara mengurangi pedal gas, sehingga kecepatan menjadi lebih kecil atau sama dengan 100 km/jam. Demikian pengendalian terhadap kecepatan kendaraan.

Batasan untuk pengendalian mutu dalam suatu proyek biasanya sudah jelas. Terutama dengan sudah terbitnya SNI, maka batasan yang dimaksud sudah tersedia. Batasan ini bisa merupakan, batasan untuk bangunan tahan gempa batasan bangunan yang berhubungan dengan air laut, batasan mutu bahan bangunan untuk konstruksi, dan lain-lainnya. Sedangkan laporannya dapat berbentuk kertas laporan hasil test, kertas laporan perhitungan struktur,

dan lain-lainnya. Jika terjadi penyimpangan mutu, maka ketiga unsur dari *owner*, konsultan dan kontraktor harus membuat rekayasa struktur ulang, untuk mengembalikan mutu sesuai tujuannya.

Batasan untuk waktu biasanya sudah ada dalam dokumen kontrak, dan berbentuk *main schedule*. Kontraktor berkewajiban untuk membuat *detail schedule* yang mengacu pada *main schedule*. *Detail schedule* dengan periode bulanan, mingguan, dan bahkan sampai harian, karena biasanya kontraktor selalu mengadakan rapat harian setelah selesai jam kerja. Salah satu alat untuk menanggulangi waktu adalah dengan merekayasa jadwal jalur kritis, dengan menata kembali kagiatan-kegiatan yang tidak kritis, dan diusahakan agar jalur kritis tetap tidak terlambat. Jalur yang masih mempunyai waktu luang, dapat dikurangi sumber dayanya, dan dialihkan ke kegiatan yang mempengaruhi jalur kritis. Untuk menanggulangi kegiatan dapat juga dengan merubah metode kerja, yang mana mungkin akan menambah biaya.

Masalah biaya merupakan hal yang sangat penting bagi kontraktor. Batasan untuk biaya ini, biasanya kontraktor membuat batasan sendiri yang biasa disebut Rencana Anggaran Pelaksanaan yang mana selisihnya dengan Rencana Anggaran Biaya dalam dokumen kontrak adalah merupakan keuntungan kontraktor, setelah dikurangi dengan pajak, biaya tidak langsung, biaya overhead dan biaya-biaya lain. Karena biaya adalah hal yang sangat penting bagi kontraktor, maka biasanya kontraktor membuat alat pengendalian yang berupa laporan yang sangat detail, di antaranya yaitu,

- Membuat *schedule* harian dan laporan prestasi tiap hari. Kemudian dirapatkan setiap hari setelah selesai kegiatan pada hari yang bersangkutan dan diputuskan atau diselesaikan untuk masalah keesokan harinya. Membuat *schedule* harian untuk keesokan harinya.
- Laporan prestasi tiap minggu. Pengawas lapangan/*superintendent*/*site engineer* pada awal minggu sudah membuat rencana

prestasi dan jadwal mingguan. Volume yang sudah dikerjakan sampai dengan akhir minggu ini dari semua kegiatan jika dikalikan dengan harga satuan akan mendapatkan prestasi akhir minggu, dan ditambah dengan nilai rupiah dari material bangunan yang sudah dibeli.

- Laporan prestasi tiap bulan. Untuk proyek yang pembayarannya berdasar hasil prestasi tiap bulan, maka laporan prestasi bulanan ini juga merupakan lampiran dari berita acara tagihan atau *monthly certificate*. Dalam laporan bulanan ini juga dibuat laporan laba rugi. Dalam pertengahan masa konstruksi, pada beberapa kasus biasanya tampak rugi. Hal ini disebabkan karena banyak material atau peralatan yang belum bisa dimasukan sebagai prestasi pekerjaan. Misalnya pembelian besi beton, semen, pasir dan kerikil, tidak bisa dimasukan sebagai prestasi pekerjaan struktur beton, karena di dalam dokumen kontrak yang dapat diakui sebagai prestasi adalah bahan beton yang sudah terpasang. Pada pembelian peralatan pintu air, barang ini tidak bisa dimasukan sebagai prestasi pekerjaan pintu air karena pintu air belum terpasang sesuai dalam gambar dokumen kontrak. Jadi uang yang sudah dikeluarkan oleh kontraktor untuk pembelian bahan, peralatan, dan sewa alat untuk keperluan konstruksi belum bisa dimasukan sebagai prestasi pekerjaan, karena semua barang tersebut belum terpasang sesuai dalam gambar dokumen kontrak, sehingga pada awal kegiatan tampak rugi. Tetapi kadang-kadang dalam dokumen kontrak tercantum dalam salah satu pasalnya bahwa stock barang/material dapat diprestasikan sekitar 80% prestasi. Dari pihak intern kontraktor untuk *monitoring* laba rugi kontraktor juga akan memasukan prestasi dari material yang sudah terbeli tersebut. Di dalam pengendalian biaya, kontraktor membuat format-format sebagai alat memonitor laba rugi. Dalam format tersebut dibuat mekanisme sehingga dapat tampak kecen-

derungan dari biaya yang keluar, lebih atau kurang dari Rencana Anggaran Pelaksanaan yang sudah dibuat sebelumnya.

- Rencana Anggaran Pelaksanaan. Rencana Anggaran Pelaksanaan adalah rencana pembiayaan yang dibuat oleh kontraktor untuk menyelesaikan suatu proyek dengan kondisi harga pada saat proyek dimulai. Oleh karena itu susunan perincian artikel/item tidak seperti dalam Rencana Anggaran Biaya dalam dokumen kontrak, tetapi mengikuti susunan item cara pembayaran dari kontraktor. Salah satunya adalah dengan susunan seperti berikut,
  - Biaya bahan (semua jenis bahan bangunan yang diperlukan)
  - Biaya upah (biasanya kontraktor melaksanakan pekerjaannya dengan cara menyerahkan upah pada mandor borong yang sudah ahlinya)
  - Biaya sub kontraktor (biasanya kontraktor melaksanakan pekerjaan yang spesifik, misalnya *air-conditioning system, mechanical & electrical*, peralatan kedokteran, pintu air, *plafond, floor hardener*, dan lain-lain, dengan cara menyerahkan kepada ahlinya/*out sourcing* dengan institusi yang sudah berpengalaman)
  - Biaya peralatan (biaya yang keluar dalam peralatan dapat berupa biaya sewa alat, atau jika milik sendiri berupa biaya penyusutan)
  - Biaya bank (kontraktor jika harus meminjam uang ke bank, maka bentuk biaya bank adalah bunga bank tersebut)
  - Biaya overhead (biaya overhead dari proyek adalah merupakan biaya yang tidak langsung untuk operasional, misalnya BBM untuk *genset*, sewa rumah/kantor, gaji pejabat kontraktor di proyek,

RENCANA ANGGARAN PELAKSANAAN (RAP)

No	Jenis Biaya	Satuan	volume	Harga Satuan	Jumlah Harga	Keterangan
1	2	3	4	5	6 = 4 x 5	7
1.1	Bahan A					
1.2	Bahan B					
1.3	Bahan C dst					
2.1	Upah borong D					
2.2	Upah borong E					
2.3	Upah borong F					
3.1	Sub kontraktor A					
3.2	Sub kontraktor B					
3.3	Sub kontraktor C					
4.1	Sewa alat A					
4.2	Sewa alat B					
4.3	Sewa alat C					
	Dst; dst					

Gambar 2.17 *Contoh form Rencana Anggaran Pelaksanaan*

SISA ANGGARAN BIAYA

Code	Jenis Biaya	Rencana Anggaran Pelaksanaan (current budget)			Biaya Yang Sudah Ter realisir (cost to date)		Sisa Anggaran Biaya dari RAP (remaining current budget)		Sisa Biaya Yang Masih Tersedia (cost to go)		
		volume	Harga satuan	Jumlah harga	Volume	Jumlah Harga	Volume	Jumlah Harga	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	2	3	4	5	6	7	8=3-6	9=5-7	10	11	12=10 x 11

Gambar 2.18 *Sisa anggaran biaya*

POSISI BIAYA

Code	Jenis Biaya	Biaya		Perkiraan biaya		Anggaran RAP		Kecende-rungan (trend)	Keterangan
		Sampai saat sekaarang (to date)	Sisa (to go)	Sampai saat sekarang	Sebelumnya	Saat sekarang	Pada awalnya (original)		
1	2	3	4	5=3+4	6	7	8	9=7-5	10

Gambar 2.19 *Posisi biaya*

- Biaya penyusutan (biasanya berupa biaya penyusutan/*depreciation* alat yang dimiliki kontraktor sendiri).

Dalam pembuatan laporan bulanan atau mingguan dapat dikerjakan seperti form dalam gambar 2.17, gambar 2.18, dan gambar 2.19. Selama proyek berjalan ada kemungkinan Rencana Anggaran Pelaksanaan akan berubah, misalnya karena ada pekerjaan tambah/kurang, tanggul yang jebol, perubahan harga karena kebijakan pemerintah, dan lain-lain.

2.5 Supervisi di dalam Suatu Proyek

Cara pengawasan suatu proyek sangat bervariasi, terutama karena tingkat kerumitan, kesulitan, besar dan luas area dari proyek tersebut. Pengelola proyek harus membagi-bagi semua petugas proyek sesuai dengan kegiatan terkait yang dikerjakannya. Dengan demikian perlu adanya bagan organisasi yang jelas sehingga tidak ada tugas yang saling tumpang tindih. Selain terbagi dengan bagan organisasi, pengelola proyek juga harus mengatur waktu dari masing-masing unit kerja yang mempunyai daerah kerja yang sama. Sebagai contoh pada daerah *plafond* bisa jadi ada tiga kegiatan, yaitu pemasangan *ducting* AC, pemasangan instalasi listrik, dan pemasangan pipa untuk *water sprinkler*. Pengaturan waktu harus tampak jelas dalam jadwal waktu mingguan. Dalam menjalankan pengawasan, pengelola proyek harus selalu mengadakan rapat harian, mingguan, dan bulanan. Tidak kalah pentingnya adalah komunikasi antara *project manager* dengan para *superintendent*, terutama pada proyek yang areanya sangat luas. Alat komunikasi pada proyek, sudah biasa dengan menggunakan radio (*two way radios, walky talky, intercom system*). Dengan menggunakan alat komunikasi semacam ini akan lebih cepat mengirim dan menerima informasi yang berhubungan dengan operasional proyek, lebih cepat penataan peralatan (walaupun penataan peralatan ini harus dirapatkan setiap sore, selesai kegiatan, tetapi

kadang-kadang ada kegiatan yang memerlukan secara mendadak), menghemat waktu, dan sangat penting untuk keselamatan kerja, jika terjadi kecelakaan.

-oo0oo-

3

PENENTUAN POSISI BANGUNAN DAN PENGUKURAN

3.1 Pengukuran untuk Pelaksanaan dalam Bangunan

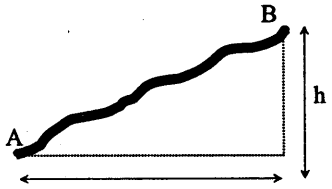
Dalam pelaksanaan pembuatan bangunan secara umum harus selalu ada ukur mengukur. Beberapa contoh,

- Pekerjaan tanah, pemotongan dan penimbunan/*cut and fill*, harus ada batas-batas yang jelas. Tanpa batas yang jelas akan merusak bangunan, dan menjadi pekerjaan yang sia-sia jika bagian pekerjaan yang seharusnya tidak dikerjakan tetapi dikerjakan dengan mengeluarkan energi yang besar. Untuk penggalian harus ada garis as penggalian, patok-patok batas-batas yang harus digali, profil-profil atau mal-mal untuk menunjukkan kemiringannya, petunjuk dalamnya penggalian; demikian juga untuk penimbunan, di sini juga harus ada garis as penimbunan, patok-patok batas-batas yang harus ditimbun, profil-profil atau mal-mal untuk menunjukkan kemiringannya, petunjuk tingginya penimbunan.
  Pembuatan jalan, dalam pembuatan jalan kita harus mengetahui as jalan dengan memberi patok-patok, kemudian harus

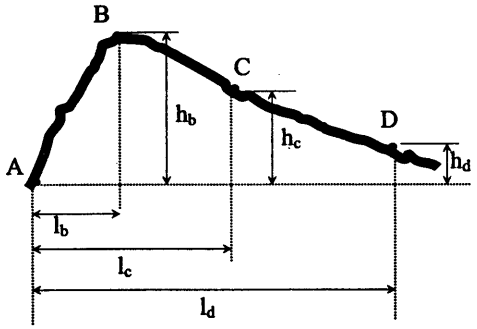
mengetahui bentuk badan jalan, elevasi as jalan, letak batas lapisan perkerasan jalan, saluran dan lain-lain.
- Profil atau mal bentuk pondasi dan tembok, dengan cara ditarik benang.

Jadi jelas semua pekerjaan bangunan selalu perlu pekerjaan ukur mengukur, hanya kita perlu memberikan toleransi terhadap tingkat ketelitian. Untuk pekerjaan bangunan gedung, pekerjaan *spill way* pada bendungan, perlu tingkat ketelitian sampai MM, sedangkan untuk pekerjaan tanggul, galian saluran dan sebagainya tidak perlu tingkat ketelitian sampai MM, cukup sampai CM. Dalam praktek biasanya hanya diambil proyeksi horisontal dan proyeksi vertikal atau dengan kata lain pengukuran jarak-jarak horisontal dan jarak-jarak vertikal. Untuk pekerjaan pengukuran dan alat-alat pengukuran, secara menyeluruh tidak dibahas dalam buku ini.

Pada Gambar 3.1 untuk mengetahui letak titik B terhadap titik A maka harus diukur jarak horisontal l dan jarak vertikal h.



Gambar 3.1 *Mengukur letak B terhadap A, harus diketahui l dan h*



Gambar 3.2 *Mengukur letak garis BD terhadap A*

Pada Gambar 3.2 untuk mengukur letak garis BD terhadap titik A, harus diukur jarak-jarak h_b dan l_b untuk titik B dan jarak-jarak h_d dan l_d untuk titik D. Jika jarak BD panjang sekali maka dapat

dibuat titik pertolongan di antara B dan D yaitu titik C, dan kemudian ukurlah h_c dan l_c.

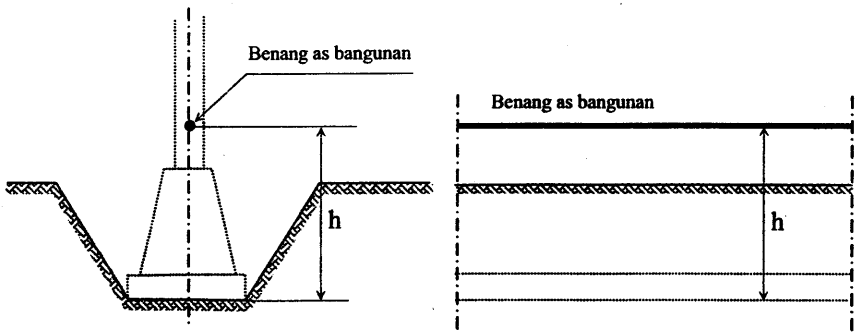
Tinggi dasar

Tinggi dasar 0 atau dalam gambar dengan tanda $\overline{\nabla}$. Tinggi bangunan dapat dipilih dengan dasar dari misalnya permukaan air laut, tinggi as jalan yang berdekatan. Tetapi bila keadaan tersebut tidak ada, maka dapat dipakai tinggi rata-rata dari halaman.

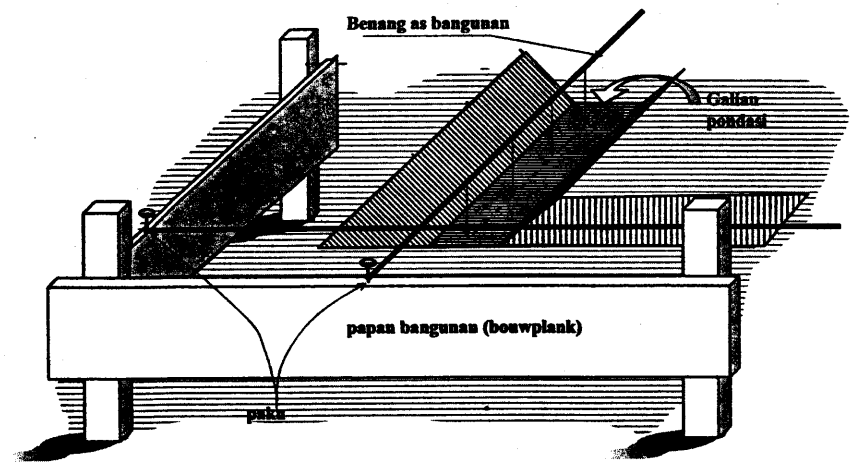
3.2 Pengukuran untuk Membuat Bangunan

3.2.1 Pengukuran untuk membuat bangunan rumah

Pertama kali harus diketahui garis-garis as dari bangunan, yaitu garis tengah dari tembok-tembok (Gambar 3.3 & 3.4). Garis as ini berupa benang yang ditarik mendatar dengan ketinggian tertentu, misalnya setinggi lantai. Untuk maksud ini maka di sekeliling rumah, di luar galian, dipasang papan-papan yang sudah diserut lurus pada sisi tipis, dan bagian yang sudah terserut tersebut dipasang secara mendatar tepat pada ketinggian yang ditentukan tersebut. Papan-papan ini dipasang dengan paku pada patok-patok yang ditancapkan secara kuat ke dalam tanah. Kemudian benang ditarik sesuai as bangunan dan diikatkan pada paku yang dipakukan pada sisi papan yang diserut. Dari benang-benang tersebut sebagai dasar untuk mengukur ukuran bangunan, dalamnya galian, tinggi lantai, tempat dan tingginya pintu-pintu dan jendela-jendela dan tingginya dinding-dinding. Papan-papan yang dipasang di sekitar rumah dan terletak di luar galian tersebut disebut papan bangunan atau *bouwplank*. Papan tersebut tidak perlu menerus sepanjang keliling bangunan, tetapi cukup pada beberapa tempat yang diperlukan saja, sehingga ada beberapa tempat yang lowong untuk lewat para pekerja bangunan.



Gambar 3.3 *Potongan melintang (sebelah kiri) dan potongan memanjang (sebelah kanan), yang menunjukkan letak as bangunan*

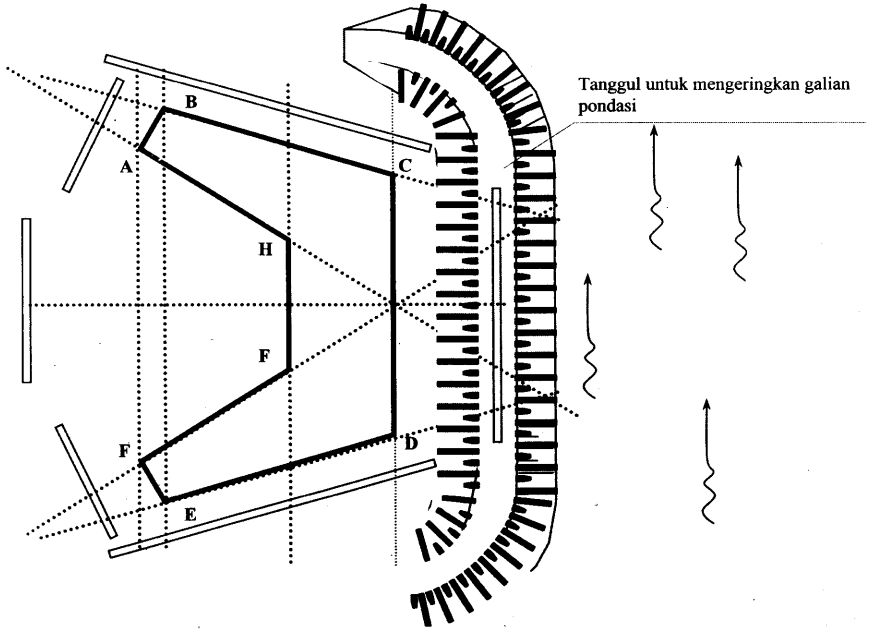


Gambar 3.4 *Gambar perspektif papan bangunan (bouwplank)*

3.2.2 Pengukuran membuat tembok untuk pondasi jembatan

Biasanya kondisi tanah tidak sebaik untuk pembuatan bangunan rumah, karena tembok jembatan dibuat di tepi sungai. Tinggi papan bangunan dapat disamakan dengan tinggi tembok bagian atas atau beberapa meter di bawahnya, disesuaikan dengan kondisi setempat.

Karena biasanya pondasi tembok jembatan ini besar dan tidak sama besarnya, maka di sini tidak dipasang as-as, melainkan garis muka dan garis belakang tembok (Gambar 3.5).

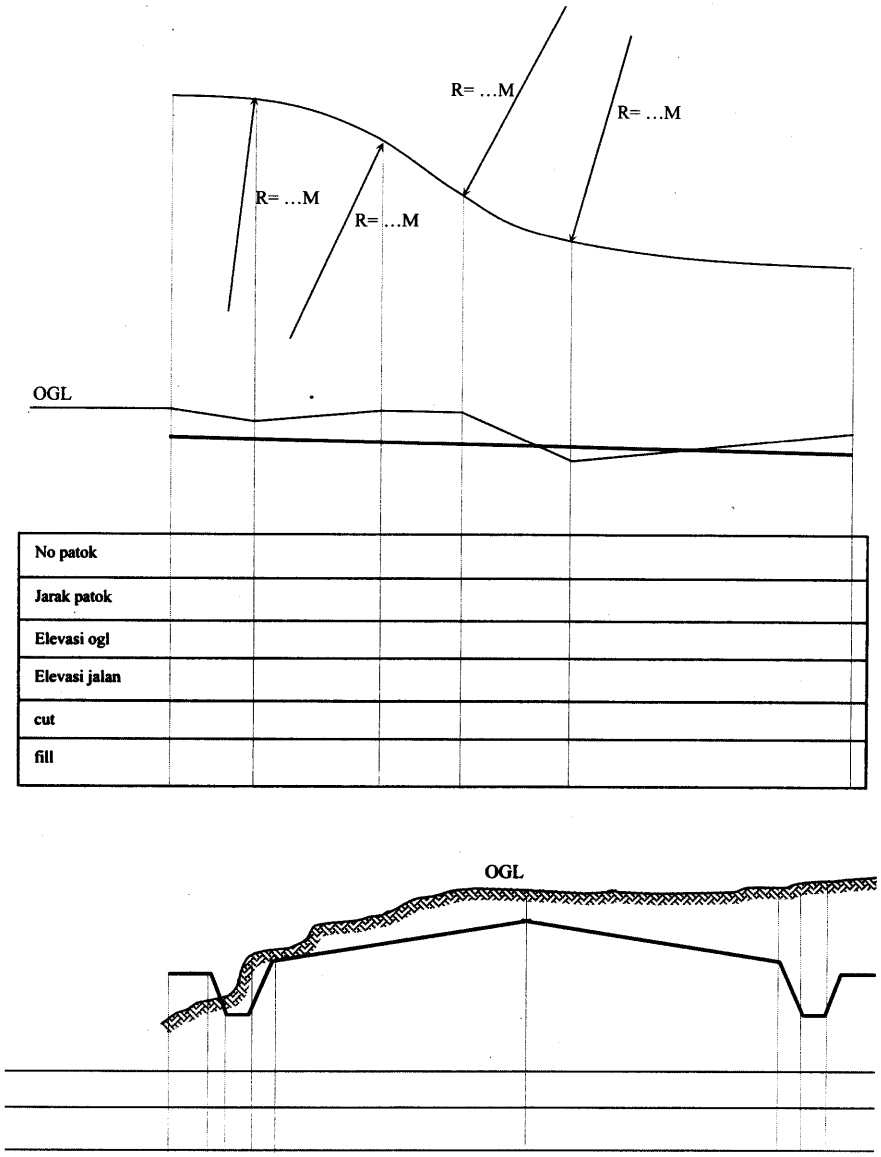


Gambar 3.5 *Pemasangan papan bangunan pada bangunan tembok pondasi jembatan*

Setelah pekerjaan penggalian pondasi telah selesai, maka pada sudut-sudut A, B, C, D, E, F, G, dan H dipasang profil-profil untuk menarik benang guna keperluan memasang batu tembok pondasinya. Kadang-kadang lokasi di sekitar pondasi tidak menguntungkan, sehingga ukuran-ukuran untuk sementara hanya menggunakan patok-patok saja.

3.2.3 Pengukuran untuk pembuatan jalan

Pada awalnya as jalan harus diberi tanda dengan patok-patok dengan jarak antara 20 – 30 M, tetapi untuk lengkungan dibuat lebih rapat. Hal ini dilakukan jika medannya tidak bergelombang.



Gambar 3.6 *Gambar rencana pembuatan jalan, potongan memanjang dan melintang, dengan disertai daftar data-data untuk keperluan pelaksanaan.*

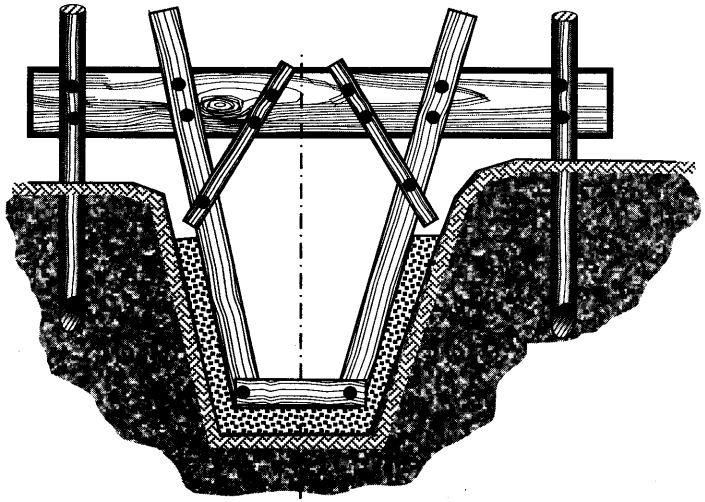
Biasanya dalam gambar rencana sudah ada potongan memanjang dan potongan melintang rencana jalan yang akan dikerjakan dan gambar garis elevasi tanah yang ada, sehingga tiap-tiap patok kita tahu elevasinya atau dengan kata lain kita tahu bahwa pada masing-masing patok seberapa harus dipotong atau harus ditimbun. Dalam gambar rencana pada potongan memanjang di bawahnya disertakan daftar, misalnya nomor patok, jarak patok, ketinggian patok terhadap elevasi rencana jalan dan lain-lain yang diperlukan; demikian juga hal seperti ini pada potongan melintang (Gambar 3.6).

3.2.4 Pengukuran untuk membuat selokan

Untuk pembuatan selokan juga harus dibuat as nya, dengan patok-patok yang berjarak 10 M. Untuk elevasi dasar selokan ukuran ketelitiannya hanya cukup sampai 1 MM saja, karena dengan kesalahan beberapa MM saja akan mempengaruhi aliran airnya. Patok-patok as kadang-kadang harus digeser dengan jarak tertentu di luar galian, karena jika di tengah galian akan terkena penggalian. Patok-patok yang di luar galian tersebut harus juga diberi tanda ketinggiannya terhadap dasar selokan. Jika galian sudah diselesaikan maka dipasang profil-profil sesuai bentuk dan ukurannya, yang dipergunakan untuk menarik benang-benang untuk keperluan pembuatan tembok atau beton selokan (Gambar 3.7)

Jadi untuk pekerjaan pengukuran pada bangunan dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu,

a. Pemasangan garis as
b. Penimbangan tinggi patok-patok as (patok as diberi tanda dengan elevasi tertentu).
c. Pemasangan profil-profil

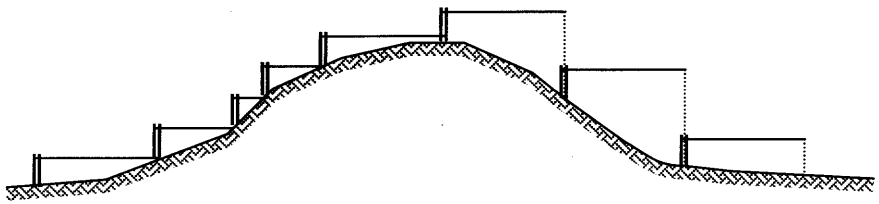


Gambar 3.7 *Pemasangan mal untuk selokan*

3.3 Pengukuran Garis Proyeksi Horisontal di Lapangan

3.3.1 Mengukur jarak

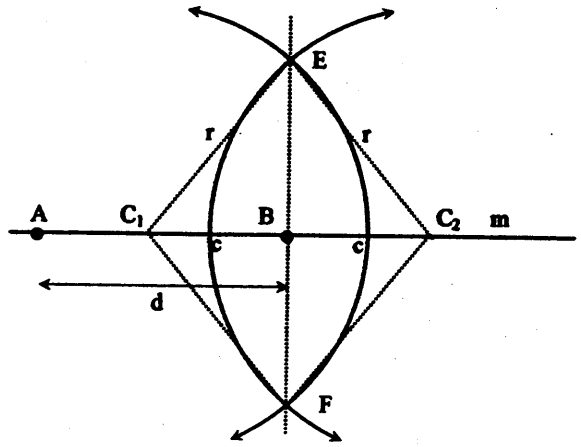
Biasanya pengukuran jarak menggunakan alat ukur *water-pas* sehingga pengukuran jarak per bagian dapat merupakan garis yang horisontal dan merupakan garis lurus jika dilihat pandangan atas (Gambar 3.8).



Gambar 3.8 *Pengukuran garis proyeksi horisontal*

3.3.2 Membuat garis tegak lurus terhadap garis lain yang diketahui

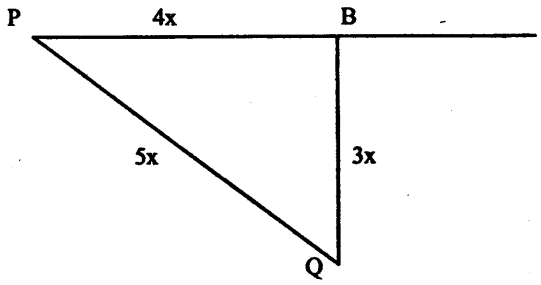
Jika diketahui garis m dan titik A (gambar 3.9), kemudian harus membuat garis lain yang tegak lurus garis m pada titik B yang berjarak d dari A. Tentukan titik B pada garis m yang berjarak d dari titik A. Kemudian tentukan titik C_1 dan C_2 sembarang yang berjarak masing-masing sebesar c (kanan & kiri) dari titik B. Kemudian lingkarkan dari C_1 dan C_2 sebagai titik-titik pusat dengan jari-jari r sembarang yang akan bertemu pada dua tempat yaitu pada titik E dan F. Jika E dan F saling dihubungkan akan berupa garis tegak lurus garis m dan pada jarak d dari titik A. Sebenarnya jika kondisi di lapangan tidak memungkinkan, maka cukup dengan mendapatkan titik E saja atau F saja, yaitu dengan menghubungkan garis dari titik B ke E atau ke F.



Gambar 3.9 *Membuat garis tegak lurus terhadap garis lain*

Dapat juga dengan cara lain yaitu menggunakan istilah 3 - 4 - 5, artinya suatu segitiga jika sisi-sisinya 3x, 4x dan 5x, maka segitiga tersebut adalah merupakan segitiga siku-siku dengan sisi siku-sikuya adalah 3x dan 4x, dan sisi miringnya adalah 5x. Jadi

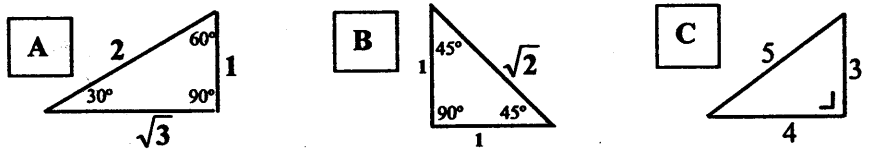
dari Gambar 3.10 pertama-tama kita tentukan titik B berjarak d dari titik A, kemudian kita tentukan titik P berjarak 4x dari B (x adalah angka sembarang). Dari P lingkarkan dengan jari-jari 5x dan dari B lingkarkan dengan jari-jari 3x, maka akan bertemu pada titik Q. Hubungkan Q dengan B, maka akan didapat garis yang dicari (Gambar 3.10).



Gambar 3.10 *Cara lain membuat garis tegak lurus terhadap garis lain*

Cara lain lagi adalah dengan instrumen alat ukur, karena dengan alat ukur kita dapat menentukan sudut 90°.

Sebagai tambahan bentuk-bentuk khusus yang perlu diketahui dalam pelaksanaan,



Gambar 3.11 *Bentuk-bentuk khusus yang perlu diketahui dalam pelaksanaan*

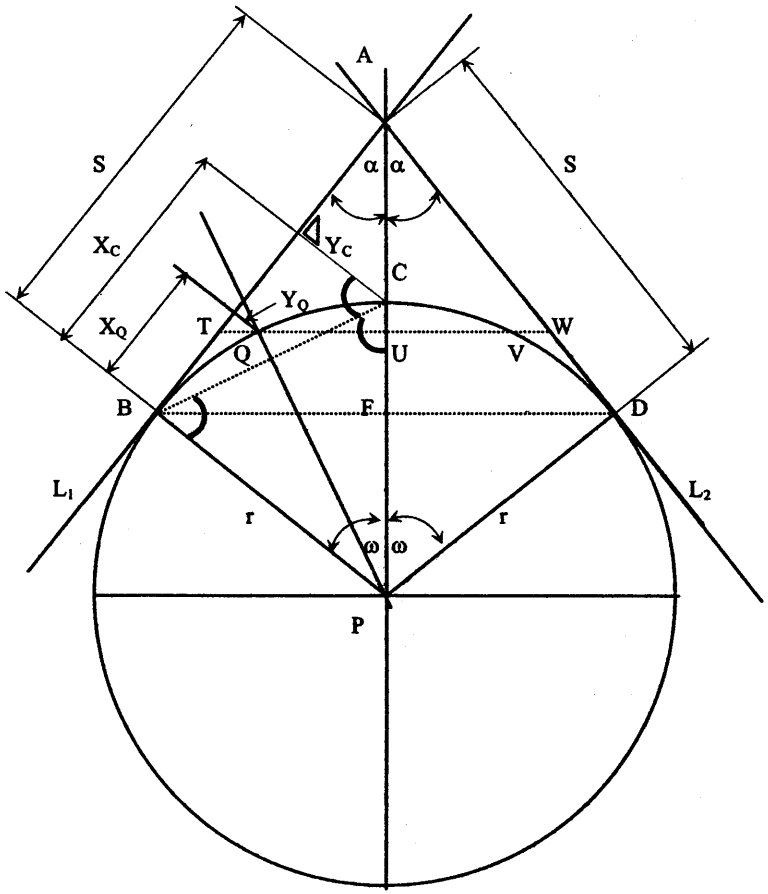
Gambar 3.11 (A) menyatakan perbandingan sisi-sisi segitiga siku-siku dengan sudut 30° dan 60°, adalah $1 : 2 : \sqrt{3}$.

Gambar 3.11 (B) menyatakan perbandingan sisi-sisi segitiga siku-siku sama kaki adalah $1 : 1 : \sqrt{2}$.

Gambar 3.11 (C) menyatakan jika perbandingan panjang sisi-sisi suatu segitiga adalah 3 : 4 : 5 maka sudut di depan sisi dengan angka perbandingan 5 adalah 90°

3.4 Pemasangan as lengkung berbentuk lingkaran

Sebelumnya kita harus mengulang rumus-rumus yang terkait untuk membuat as lingkaran tersebut, sebagai berikut (Gambar 3.12)



Gambar 3.12 *As bangunan bentuk lingkaran*

1. $S = r \operatorname{tg} \omega = r \operatorname{cotg} \alpha$
   $r = S \operatorname{cotg} \omega = S \operatorname{tg} \alpha$

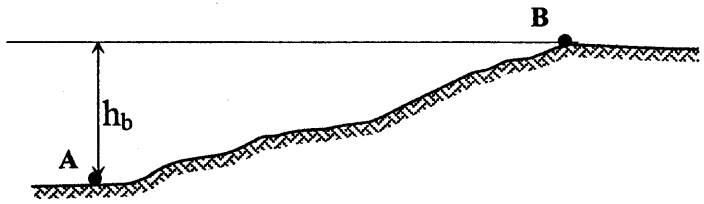
2. $AP = \frac{r}{\cos \omega} = \frac{r}{\sin \alpha} = \frac{S}{\sin \omega} = \frac{S}{\cos \alpha}$

3. $AC = AP - r$
4. $CF = r - r \cos \omega = 2 r \sin^2 \frac{1}{2} \omega = 2 r \sin^2 \left(\frac{90° - \alpha}{2} \right)$

   (karena $\cos \omega = 1 - 2 \sin^2 \frac{1}{2} \omega$ atau $1 - \cos \omega = 2 \sin^2 \frac{1}{2} \omega$)
5. $X_C = BF = FD = r \sin \omega = r \cos \alpha$
   $Y_C = CF$

3.5 Pengukuran Perbedaan Tinggi (Menimbang Tinggi)

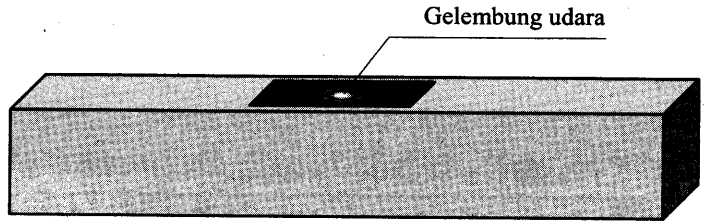
Yang dimaksud dengan menimbang tinggi adalah mengukur perbedaan tinggi antara titik B terhadap titik A, yaitu sebesar h_b (lihat Gambar 3.13)



Gambar 3.13 *Perbedaan tinggi antara titik A dan titik B*

Peralatan yang dapat dipakai sesuai dengan kebutuhannya adalah,

1. Libel (gambar 3.14). Alat ini dipergunakan untuk menimbang dengan jarak yang sangat pendek.



Gambar 3.14 *Alat libel*

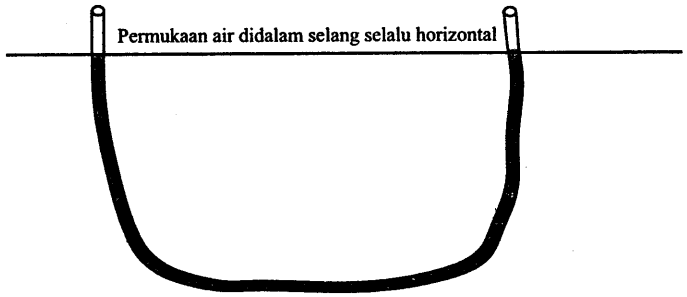
Pada libel terdapat sebuah tabung yang tertutup dari gelas. Tabung tersebut merupakan tabung dengan lengkungan dengan jari-jari yang besar dengan bagian cembungnya mengarah ke atas. Tabung tersebut hampir penuh dengan zat cair berupa alkohol atau zat cair ringan lainnya, tetapi masih tampak gelembung udaranya, di mana gelembung tersebut akan selalu mencari tempat yang tertinggi. Pada tabung terdapat tanda dan jika gelembung tepat pada posisi tanda tersebut maka jidar akan menunjukkan horisontal.

Kadang-kadang terjadi kurang tepat karena kesalahan pabrik pembuatan libel ini, maka perlu dilakukan pengukuran dengan memutar 180°, kemudian diambil posisi rata-ratanya. Posisi awal adalah A - A, kemudian alat libel diputar 180° menjadi garis B - B. Sedangkan posisi rata-ratanya adalah posisi C - C. (Gambar 3.15)

Gambar 3.15 *Mengeliminir kesalahan pada alat libel*

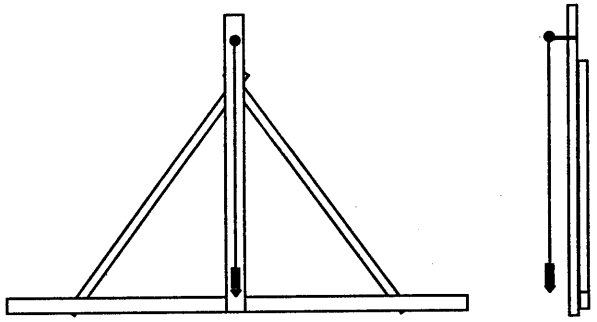
2. Timbangan botol atau selang yang diisi air. Timbangan ini dengan memanfaatkan kaidah bahwa permukaan air selalu dengan posisi horisontal. Penimbangan dengan selang air ini sangat praktis dan murah, tetapi harus hati-hati dalam pengisian air ke dalam selang jangan sampai ada gelembung udara di an-

tara kedua permukaan air, karena akan mengakibatkan permukaan air di dalam selang tidak menunjukkan horisontal (lihat Gambar 3.16).



Gambar 3.16 *Cara untuk menimbang tinggi dengan selang air*

3. Membuat timbangan sendiri dengan alat yang sederhana (Gambar 3.17), biasa disebut timbangan rel. Dibuat papan-papan berbentuk segitiga dengan papan vertikal tegak lurus terhadap papan horisontal. Pada papan vertikal terdapat paku untuk menggantungkan tali lot. Pada papan vertikal digambar garis yang betul-betul tegak lurus terhadap alas dari papan horisontal. Jika tali lot berimpit dengan garis tersebut maka alas segitiga tersebut adalah betul-betul horisontal.

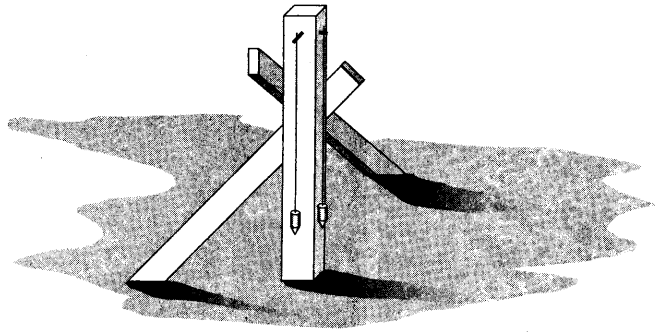


Gambar 3.17 *Timbangan rel*

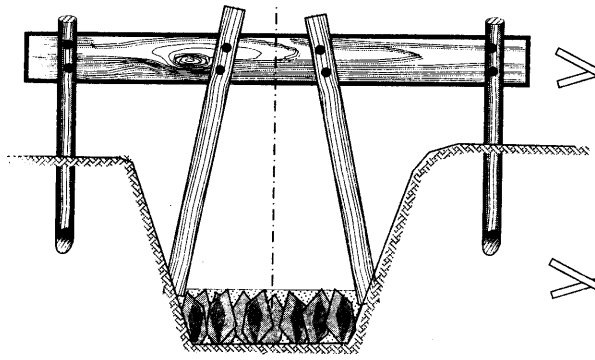
4. Instrumen ukur/Alat ukur, dengan alat ukur ini dapat untuk menimbang ketinggian sampai puluhan meter bahkan sampai ratusan meter dengan menggunakan sinar laser.

3.6 Pemasangan Profil untuk Membuat Bentuk Bangunan

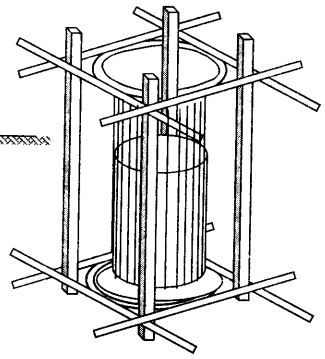
Setelah patok-patok as dipasang, di mana sudah diketahui posisi dari garis-garis dan titik-titik bangunan yang diperlukan, maka segera dipasang profil-profil menurut bentuk dan ukuran-ukuran dari bagian-bagian bangunan. Untuk membuat profil tegak/vertikal digunakan tali lot (gambar 3.18).



Gambar 3.18 *Membuat profil tegak*

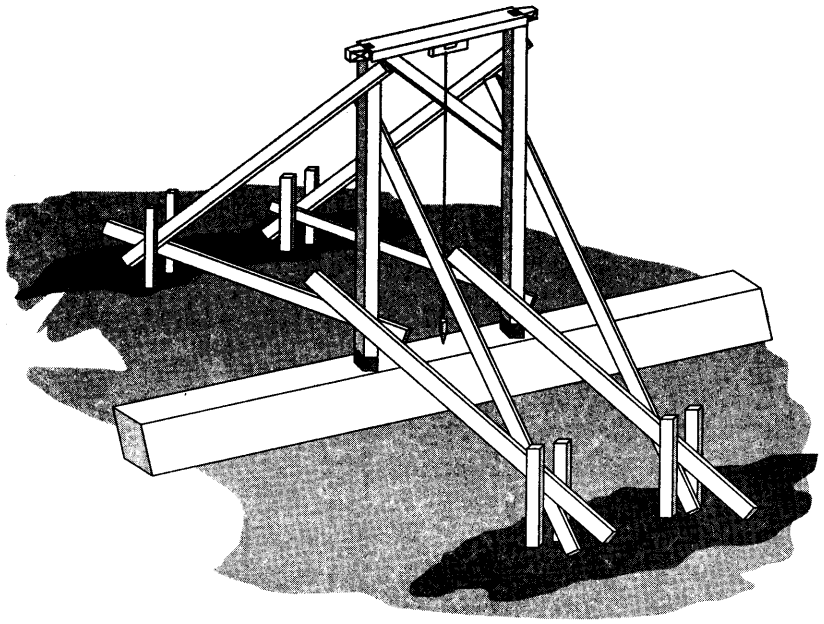


Gambar 3.19 *Profil untuk pondasi dangkal*



Gambar 3.20 *Profil pilar bulat*

Gambar 3.19 contoh profil untuk pondasi dangkal untuk rumah, dipasang setiap kira-kira 5M dan dihubungkan dengan ditarik benang pada titik-titik yang diperlukan, yaitu pada as dan pada sudut-sudutnya. Gambar 3.20 adalah contoh profil untuk pembuatan pilar bangunan bentuk bulat, misalnya pada pilar jembatan dengan menggunakan pasangan batu kali. Untuk pilar bangunan gedung biasanya cukup kecil diameter kolomnya, dengan menggunakan cetakan beton, kemudian dicor beton. Pekerjaan/ cetakan beton dengan bentuk silinder atau kerucut terpancung ini perlu sangat teliti, karena dengan bentuk semacam ini jika terjadi perubahan bentuk kecil saja dapat terlihat.



Gambar 3.21 *Pemasangan Kusen pintu*

Gambar 3.21 adalah contoh pemasangan kusen pada bangunan sederhana. Kusen harus berdiri secara vertikal dilihat dari posisi yang saling tegak lurus, yaitu posisi searah dengan tembok

dan posisi tegak lurus dari arah tembok. Untuk maksud tersebut dengan alat yang sederhana menggunakan unting-unting atau lot. Setelah kusen berdiri secara vertikal segara dipasang kayu-kayu penyangga diagonal. Kayu-kayu penyangga ini dipakukan pada kusen, sehingga nantinya akan tampak lubang-lubang paku, yang dapat diisi dengan dempul sebelum dicat atau diplitur.

-oo0oo-

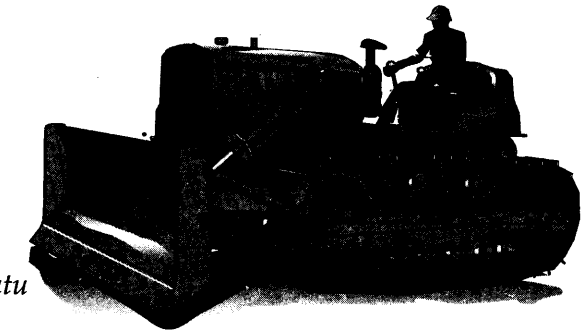
4

PEKERJAAN TANAH/*EARTH WORK AND EARTH MOVING*

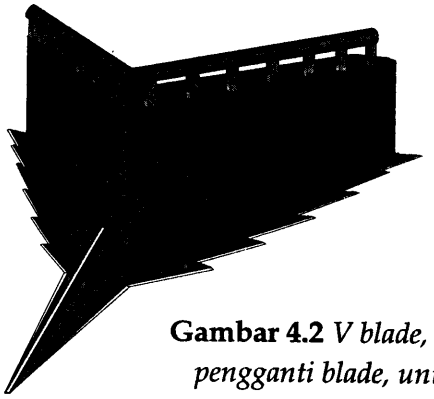
4.1 Pembersihan Permukaan Tanah

Pada suatu proyek sebelum dimulai dengan kegiatan penggalian tanah, harus dibuat gambar peta *contour* dari tanah asli, agar pekerjaan potong dan timbunan tanah (*cut & fill*) nantinya dapat diperhitungkan. Dan sebelum pelaksanaan pekerjaan tanah pada lokasi bangunan dan fasilitas untuk bangunan, perlu adanya pembersihan/*land clearing/clearing and grubbing*. Pembersihan ini ada beberapa kemungkinan dalam pelaksanaannya, tergantung pada tipe tanamannya, dan tujuan dari pembersihan. Peralatan untuk pembersihan ini yang paling baik adalah dengan menggunakan buldoser (Gambar 4.1). Untuk pohon besar buldoser dapat menggali tanah sekeliling pohon, dengan memotong sebagian akarnya, kemudian ditumbangkan. Tetapi sekarang dengan memodifikasi buldoser sehingga dapat lebih cepat cara kerjanya. *Blade* dari buldoser dimodifikasi sehingga lebih cocok untuk menumbangkan pohon-pohon yang besar, pembersihan area proyek, mendongkel tunggul batu dan lain-lain. Beberapa cara memodifikasi di antaranya adalah,

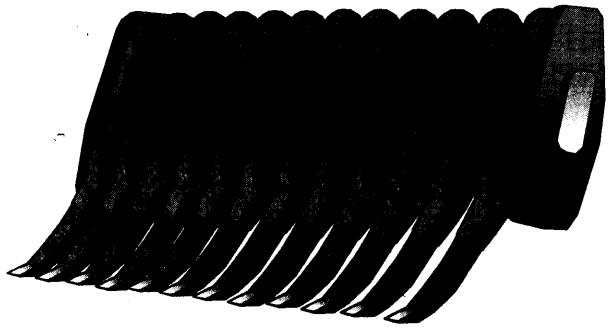
- *Blades* dari buldoser diganti dengan bentuk yang dapat membelah-belah pohon-pohon yang besar dengan cara menusuknya dengan besi yang kuat, sehingga mudah untuk menumbangkannya. Juga dengan alat ini akar-akar yang horisontal dapat dibelah-belahnya sehingga mudah menumbangkannya. Ada juga dengan memasang *blade* dengan bentuk V, disebut sebagai *V-blade* (Gambar 4.2). Alat ini disebut *tractor-mounted bulldosers.*
- *Blades* dari buldoser diganti dengan bentuk seperti garpu/penggaruk (*rake*) (Gambar 4.3). Dengan bentuk semacam garpu ini dapat untuk pembersihan dengan mengumpulkan batang-batang pohon, batuan dan lain-lain tetapi tanah tidak terikut.



Gambar 4.1 *Salah satu jenis dari buldoser*



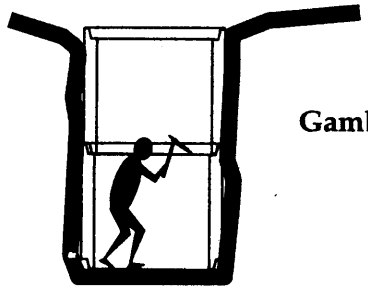
Gambar 4.2 *V blade, yang dipasang di depan buldoser pengganti blade, untuk pembersihan/land clearing. Sumber dari Construction Planning, Equipment, And Methods, Peurifoy*



Gambar 4.3 *Garukan/garpu/rake, yang dipasang di depan buldoser pengganti blade, untuk pembersihan/land clearing. Sumber dari Construction Planning, Equipment, And Methods, Peurifoy*

4.2 Penggalian Pondasi Sumuran

Penggalian pondasi sumuran biasanya cukup dengan menggunakan tenaga manusia seperti biasanya membuat sumur. Setelah digali sedalam ± 80 CM gorong-gorong beton ∅ ± 80 CM dimasukan dan satu orang di dalam gorong-gorong tersebut melanjutkan penggaliannya yang akan mengakibatkan gorong-gorong turun dan ditambah gorong-gorong di atasnya lagi, demikian seterusnya. Penggalian dengan alat cangkul ini biasanya kayu pegangannya diperpendek sehingga mempermudah pengerjaan di dalam gorong-gorong tersebut (Gambar 4.4).

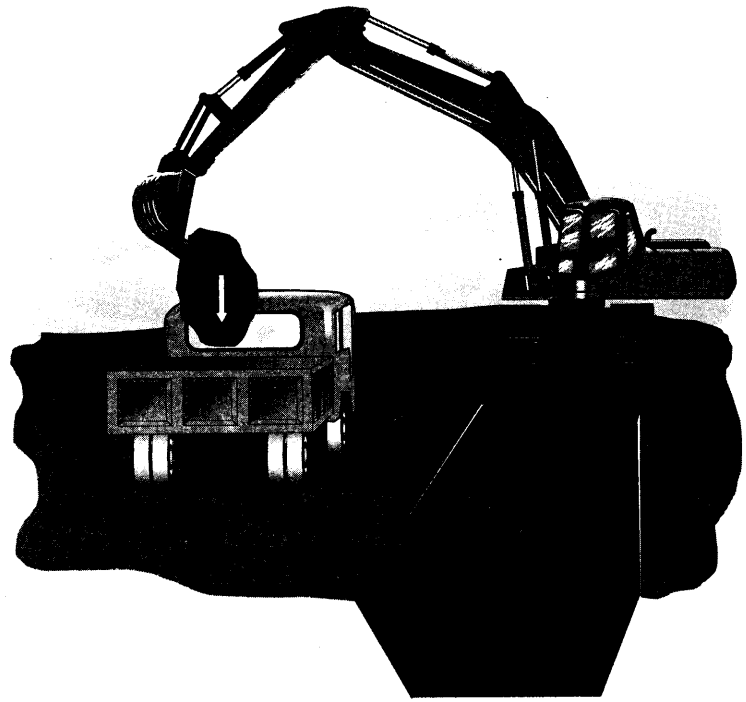


Gambar 4.4. *Penggalian pondasi sumur*

Perlu diperhatikan dalam penggalian sumuran ini, di dalam tanah kadang-kadang timbul gas-gas yang beracun yang akan membahayakan bagi pencangkul, untuk itu harus dipasang *blower* agar sirkulasi udara dapat berfungsi secara baik atau dengan menggunakan alat yang dapat selalu mendeteksi keberadaan gas beracun di dalam sumur. Rongga antara beton gorong-gorong dengan tanah dapat diisi dengan pasir yang disiram air sehingga dapat masuk ke sela-selanya secara sempurna. Setelah mencapai kedalaman tanah keras, maka dalam gorong-gorong diisi dengan beton siklop (*cyclopean concrete*) yaitu beton dengan batu-batu yang besar. Pondasi sumuran ini cocok untuk pondasi bangunan di mana letak tanah keras sudah terlalu dalam untuk dibuat pondasi batu kali telapak menerus dengan bentuk trapesium, karena volume menjadi sangat besar. Tanah keras yang dimaksud dengan kedalaman mencapai 2 sampai 3 meter. Sekarang cara ini sudah jarang dipakai karena dengan pondasi *bore pile* lebih mudah.

4.3 Penggalian Tanah Berbentuk Parit dan Pondasi Bangunan Gedung Sederhana

Seperti kita ketahui bahwa jenis pondasi ada bermacam-macam, berdasarkan bentuk dan fungsinya. Di sini akan kita bicarakan beberapa masalah galian untuk beberapa macam pondasi. Penggalian tanah untuk pondasi bangunan gedung, yaitu pondasi langsung telapak menerus, biasanya berbentuk trapesium, cukup dengan cangkul dengan menggunakan tenaga manusia, karena volumenya yang sedikit, dengan menggunakan alat berat tidak ekonomis. Tetapi untuk pondasi bangunan gedung yang besar dan luas dengan volume galian yang besar, walaupun merupakan pondasi dangkal misalnya pondasi pelat/*voet-plaat*, perlu dipertimbangkan dengan menggunakan alat berat dalam hal ini yang cocok adalah dengan menggunakan *back hoe* (ada beberapa nama yang sering digunakan, yaitu *hoe, excavator, shovel, back shovel,* dan *pull shovel*) (Gambar 4.6). Dengan tipe pondasi semacam ini penggalian-nya sangat cocok menggunakan *shovel* (Gambar 4.5).



Gambar 4.5 *Skema metode kerja penggalian parit atau penggalian pondasi dengan menggunakan excavator / backhoe*

Bucket dari *shovel* dengan bentuk seperti Gambar 4.6 (c) sangat efisien untuk penggalian parit, jika tanah mengandung batuan juga dapat untuk mendongkelnya. Lebar dari *bucket* memungkinkan untuk pekerjaan penggalian pondasi atau parit dengan baik. Urutan penggalian dan rencana lokasi jalan sementara harus diperhatikan jangan sampai alat berat dan *dump truck* mengalami kesulitan *manoeuvre* dan perjalanannya. Hal ini sangat banyak kemungkinannya terutama karena masalah halangan-halangan yang terdapat pada proyek selalu berbeda kondisinya. Perlu diperhatikan juga kombinasi dari peralatan-peralatan tersebut yaitu komposisi satu

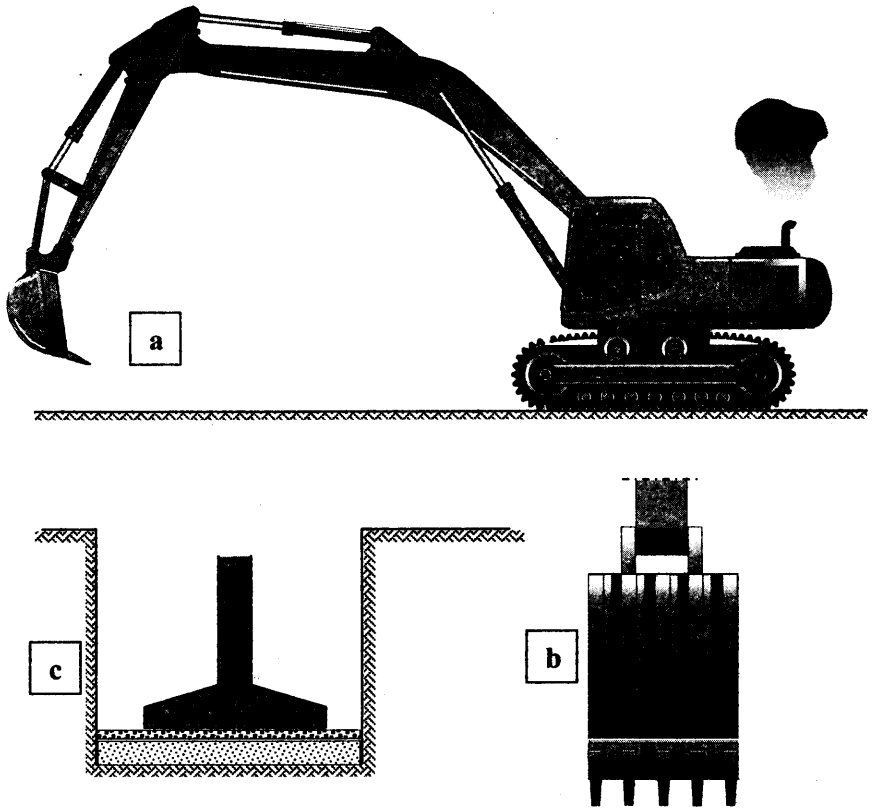
buah *shovel* dengan berapa jumlah *dump truck* (lihat skema gambar *dump truck*, gambar 4.11) yang dipergunakan. Terlalu banyak *dump truck* akan mengakibatkan *dump truck* menjadi *idle*, demikian pula kurang *dump truck* akan mengakibatkan *shovel* menjadi *idle*. Padahal harga produksi alat-alat berat tersebut mahal. Jadi mutlak harus diperhitungkan dalam hal,

1. kapasitas *excavator/shovel*
2. kapasitas *dump truck*
3. *cycle time* dari *dump truck*
4. faktor operator

Keempat hal tersebut harus selalu dikontrol agar tidak terjadi *idle* pada salah satu alat-alat tersebut. Dikontrol yang dimaksud di sini adalah terutama *cycle time* dari *dump truck*. Sebagai contoh pada pengangkutan tanah dapat terjadi lokasi pembuangan tanah berubah jaraknya, atau jalan sementara untuk pengangkutan menjadi rusak. Kedua hal tersebut di atas akan merubah *cycle time* dari *dump truck*, sehingga perlu merubah kombinasi dari peralatan tersebut.

Sedangkan kapasitas dari *backhoe* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu,

1. jenis material tanah
2. kedalaman galian
3. persyaratan teknis galian
4. sudut putaran *backhoe*
5. kondisi manajemen
6. faktor operator (keahlian dan sikap)
7. kondisi mesin *backhoe*
8. kondisi lapangan kerja



Gambar 4.6 *a. Excavator/ shovel/hoe. b. Bucket dari shovel, tampak depan. c. Potongan melintang galian dan tipe pondasi voet plaat.*

Kita tahu bahwa jika tanah asli (*bank material*) digali, maka akan berubah menjadi tanah lepas (*loose material*), dan volumenya akan mengembang. Dalam menghitung *output backhoe* ini, harus berdasarkan volume tanah asli (*bank-measure volume*). Misalkan tanah asli yang tergali dengan *backhoe* akan mengembang 25%, maka untuk mengembalikan volume tanah di dalam *bucket* yang sudah mengembang menjadi volume dari tanah asli dapat dihitung dengan cara, volume tanah di dalam *bucket* yang mengembang tersebut dibagi dengan 125%, atau dibagi dengan 1,25. Misalkan volume *bucket backhoe* 0,6 M^3 dapat mengangkat tanah lepas sebanyak 1,125

x 0,6 M^3 = 0,675 M^3 (*bucket* dari *backhoe* dapat mengangkat tanah lepas lebih besar dari volume *bucket*, karena tanah lepas dapat menumpuk lebih tinggi dari permukaan *bucket*, dan perkiraan adalah sebesar 1,125 untuk amannya dalam perhitungan), maka volume tanah aslinya (*bank-measure volume*) yang diangkat oleh *bucket* adalah 0,675 : 1,25 = 0,54 M^3. Misalkan *backhoe* dapat bekerja dengan 3 kali putaran per menit (secara rata-rata termasuk *manoeuvre*-nya), maka produksi (output) dari *backhoe* tersebut adalah 3 x 0,54 M^3 = 1,62 M^3 per menit, atau per jam = 97,2 M^3. Perhitungan produksi ini terlalu ideal, sehingga jarang dapat terjadi pada suatu proyek. Dalam perhitungan tersebut yang dicari adalah volume tanah asli (*bank-measure volume*), karena volume yang diketahui adalah juga volume tanah asli sesuai hasil pengukuran di lapangan.

Untuk memperkirakan produksi yang ideal dari *backhoe* ini dapat menggunakan Tabel 4.1, yang dinyatakan dengan M^3 dari tanah asli (*bank-measure volume*), untuk beberapa jenis tanah berdasarkan kedalaman penggalian yang optimum dan dengan putaran 90°. Kedalaman optimum adalah kedalaman penggalian dari *backhoe* yang menghasilkan output yang paling besar dengan isi *bucket* yang penuh. Dalam menjalankan penggalian tanah dengan *backhoe* jika permukaan yang digali terlalu dalam akan menyulitkan, demikian juga jika terlalu dangkal, sehingga akan mengurangi output hasil kerja operator. Dari Tabel 4.1 tampak kedalaman optimum bervariasi terhadap jenis tanah dan ukuran *bucket* dari *backhoe*.

Sudut putaran horisontal dari *backhoe*, yaitu sudut perputaran yang dibuat oleh lengan *backhoe*, pada posisi *bucket* menggali tanah dan pada posisi *bucket* membuang/menumpahkan tanah (ke dalam bak truk), akan mempengaruhi hasil kerja dari *backhoe*, dan dapat dilihat pada Tabel 4.2. Prosentasi kedalaman optimum adalah = $\frac{\text{kedalaman galian}}{\text{kedalaman optimum}} \times 100\%$.

Tabel 4.1 *Produk/output ideal dari backhoe, dalam M^3 per jam (bank-measure volume)**

Jenis tanah galian		Ukuran dari *shovel/bucket*, M^3										
		0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,1	1,3	1,5	1,9
Tanah lembab (*moist loam or light sandy clay*)	Kedalaman optimum (M)	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,6
	ideal output (M^3)	65	88	126	157	191	218	245	271	310
Pasir dan kerikil	Kedalaman optimum (M)	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,6
	ideal output (M^3)	61	84	119	153	176	206	229	252	298
Tanah biasa (*good common earth*)	Kedalaman optimum (M)	1,4	1,7	2,1	2,4	2,6	2,8	3,0	3,1	3,4
	ideal output (M^3)	54	73	103	134	161	183	206	229	268
Lempung keras (*hard, tough clay*)	Kedalaman optimum (M)	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,5	3,7	4,0
	ideal output (M^3)	38	57	84	110	138	161	180	202	237
Batuan hasil peledakan yang baik, (*well-blasted rock*)	*ideal output* (M^3)	31	46	73	96	119	138	157	176	210
(*Wet, sticky clay*)	Kedalaman optimum (M)	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,5	3,7	4,0
	ideal output (M^3)	19	31	54	73	92	111	126	141	176
Batuan hasil peledakan tidak baik/belum hancur (*poorly blasted rock*)	*ideal output* (M^3)	11	19	38	57	73	88	107	122	149

* Sumber dari: Peurifoy, *Construction Planning, Equipment, And Methods*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. - source: Power *Crane and Shovel Association*

Satu putaran (1 *cycle*) untuk operasi *backhoe* adalah penggalian tanah oleh *bucket* - pemutaran lengan *backhoe* ke posisi menumpah tanah - menumpah tanah - lengan *bucket* kembali ke posisi galian tanah. Yang mempengaruhi waktu putaran (*cycle time*) adalah waktu untuk memutar lengan *backhoe*. Pengaruh dari sudut putaran dari lengan *backhoe* dapat diikuti pada Tabel 4.2. Dari Tabel 4.2 tampak, jika *backhoe* menggali dengan kedalaman optimum (prosentase kedalaman 100%) mengalami sudut putaran berkurang dari 90° ke 45°, maka output dari *backhoe* akan bertambah 26%.

Contoh kasus

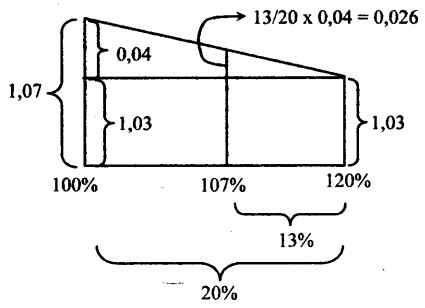
Sebuah *backhoe* dengan volume *bucket* 0,3 M^3, menggali parit dengan kedalaman 1,5 M. Karena kondisi lapangan mengharuskan *backhoe* berputar 75° untuk menumpahkan tanah ke dalam bak dari *dump truck*. Jenis tanah adalah tanah biasa. Tentukan output dari *backhoe* tersebut.

Penyelesaian

Dari Tabel 4.1 kedalaman optimum *bucket* 0,3 M^3 dengan jenis tanah biasa adalah 1,4 M. Prosentase kedalaman optimum adalah $\frac{1,5}{1,4}$ x 100% = 107%.

Dari Tabel 4.2 dengan cara interpolasi didapat faktor konversi sebesar 1,03 + 0,026 = 1,056

ideal output per jam = 54 x 1,056 = 57 M^3 per jam



Pengaruh kondisi manajemen yang dimaksud adalah bagaimana pengelola alat berat ini memanajemeni masalah peralatan termasuk sumberdaya manusianya. Bagaimana menata sumberdaya manusia sehingga operator, teknisi, dan staf lainnya merasa

bertanggung jawab untuk bekerja sesuai dengan tugasnya. Klasifikasi dari kondisi manajemen ini dibagi dalam empat kategori, yaitu baik sekali (*excellent*), baik (*good*), sedang (*fair*), tidak baik (*poor*) (lihat Tabel 4.3).

Tabel 4.2 *Faktor konversi untuk kedalaman penggalian dan sudut putaran dari backhoe**

Prosentasi kedalaman optimum	Sudut putaran dari *backhoe*						
	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
40%	0,93	0,89	0,85	0,80	0,72	0,65	0,59
60%	1,10	1,03	0.96	0,91	0,81	0.73	0,66
80%	1,22	1,12	1,04	0,98	0,86	0,77	0,69
100%	1,26	1,16	1,07	1,00	0,88	0,79	0,71
120%	1,20	1,11	1,03	0,97	0,86	0,77	0,70
140%	1,12	1,04	0,97	0,91	0,81	0,73	0,66
160%	1,03	0,96	0,90	0,85	0,75	0,67	0,62

* Sumber dari: *Peurifoy, Construction Planning, Equipment, And Methods,* McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. - source: Power *Crane* and Shovel Association

Demikian juga perlu kita perhitungkan kondisi lapangan kerja, karena dapat mempengaruhi output dari *backhoe*. Kondisi lapangan kerja yang dimaksud di sini adalah kondisi di mana *backhoe* bekerja, yang dapat berupa,

- Jalan kerja pengangkutan *dump truck*. Jalan kerja pada proyek yang sangat luas perlu harus selalu dirawat agar tidak memperbesar *cycle time* dari *dump truck*. Terutama jalan kerja yang terbuat dari tanah pada area lingkungan proyek, biasanya perlu adanya buldoser kecil untuk perawatan jalan tersebut secara periodik. Dalam keadaan terpaksa kadang-kadang jalan kerja ini perlu dilapis dengan campuran pasir dan batu kerikil, agar *dump truck* tidak selalu mengalami kesulitan, selip, *ambles*, pada jalan kerja yang banyak air tanah.

- Tanah tempat di mana *backhoe* beroperasi. Kondisi tanah pada proyek sangat bervariasi. Beberapa kondisi tanah yang menyulitkan untuk operasional misalnya, tanah becek dan lumpur, tanah berbatu besar, tanah hasil peledakan.
- Cuaca. Sebagai contoh daerah Ciawi adalah daerah yang sepanjang tahun banyak hujan, sehingga menyulitkan operasional alat-alat berat. Dalam kasus jenis pekerjaan tertentu terpaksa harus mendatangkan tanah dengan *moisture content* yang optimum dari daerah lain, yang mungkin sangat jauh.
- Jenis pekerjaan. Untuk pekerjaan dengan tingkat ketelitian yang tinggi, operator harus bekerja dengan ekstra hati-hati. Demikian juga pada lokasi pekerjaan yang rawan terhadap kecelakaan, misalnya pada daerah yang mudah longsor, dekat jurang, daerah banyak penduduk dan lalu lintas, daerah berbukit, dan lain-lain. Hal tersebut di atas akan mempersulit operasional alat-alat berat. Contoh jenis pekerjaan dengan ketelitian yang tinggi adalah pada kasus penggalian pada pemasangan pipa dengan diameter besar, yang akan dikupas khusus dalam bab selanjutnya, yaitu "Kasus Pemasangan Pipa Beton dengan Diameter yang Besar untuk Air Baku"

Kondisi lapangan pekerjaan ini dibagi dalam empat kategori, yaitu baik sekali (*excellent*), baik (*good*), sedang (*fair*), tidak baik (*poor*) (lihat Tabel 4.3).

Dengan contoh kasus di atas, jika kondisi manajemen sedang, dan kondisi lapangan kerja tidak baik, maka output dari *backhoe* menjadi 0,57 x 57 M^3 = 32,49 M^3 per jam.

Tabel 4.3 *Faktor untuk kondisi manajemen dan kondisi lapangan kerja*

Kondisi Lapangan Kerja	Kondisi Manajemen			
	Baik sekali (*excellent*)	Baik (*good*)	Sedang (*fair*)	Tidak baik (*poor*)
Baik sekali (*excellent*)	0,84	0,81	0,76	0,70
Baik (*good*)	0,78	0,75	0,71	0,65
Sedang (*fair*)	0,72	0,69	0,65	0,60
Tidak baik (*poor*)	0,63	0,61	0,57	0,52

* Sumber dari: *Peurifoy, Construction Planning, Equipment, And Methods,* McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. - source: Power *Crane* and Shovel Association and Frank A. Nikirk.

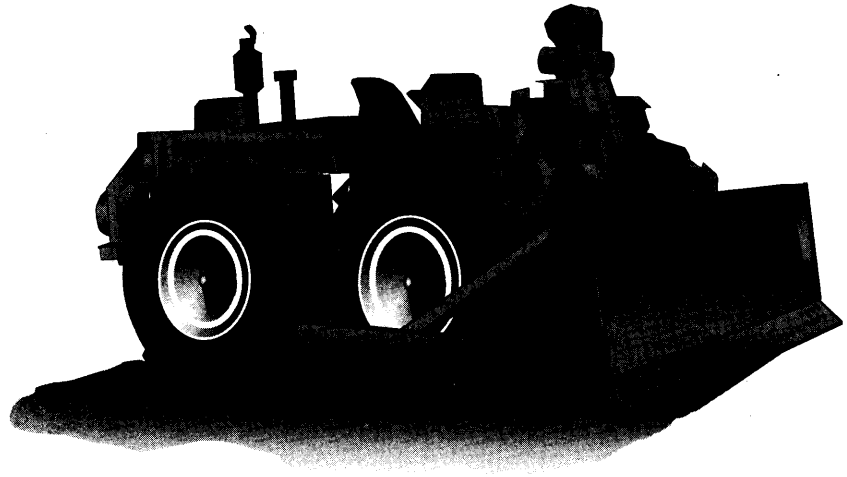
4.4 Penggalian Tanah/Pemotongan Tanah secara Massal dengan Menggunakan Alat-alat Berat

Penggalian tanah ini sangat bervariasi, baik jenis tanahnya, kondisi medannya, komposisi alat yang digunakan, maupun metode kerjanya. Penggunaan alat-alat berat dapat mencakup beberapa jenis alat berat, yang mana tidak semuanya dapat dipakai, tetapi dibentuk sesuai kombinasinya dengan mempertimbangkan kondisi medannya. Alat-alat berat yang dimaksud di antaranya yang sering dipakai adalah *power shovel/backhoe, bulldoser, tractor, scraper, dragline, trenching machine, belt-conveyor, dump truck, crawler drill* untuk peledakan.

Untuk pemotongan tanah biasa (*good common earth*), biasanya dengan menggunakan buldoser (Gambar 4.1). Alat ini sangat bermanfaat untuk sebagian besar jenis proyek, bahkan dapat dimanfaatkan dari mulainya proyek sampai menjelang penyelesaian proyek, karena dapat berfungsi untuk kegiatan-kegiatan di antaranya, pembersihan daerah proyek termasuk pendongkelan akar-akar pohon besar, pembuatan jalan masuk sementara proyek, dapat memotong dan mendorong tanah sampai sejauh maksimum 75 meter, menebarkan tanah untuk urugan kembali dengan dipadatkan, alat untuk penambangan di lokasi penambangan/*quarry*, sebagai *tractor*/penarik dari beberapa alat berat lainnya, perawatan jalan

sementara proyek dari awal sampai menjelang akhir proyek. Jenis alat ini juga bervariasi terutama karena pabrik pembuatannya dari beberapa negara. Yang sekarang banyak digunakan adalah *hydraulic-controlled bulldoser*, selain ada juga *cable-controlled bulldoser* yang sudah jarang dipakai. Ada jenis dengan menggunakan roda karet, sehingga lebih lincah untuk digunakan pada daerah yang relatif datar dan tidak berlumpur, dinamakan *wheel-tractor-mounted bulldoser* (Gambar 4.7). *Blade* dipasang tegak lurus dengan arah jalannya buldoser, tetapi *blade* dapat dimodifikasi sehingga membentuk sudut dengan arah jalannya buldoser (*angledoser*). Yang tersebut pertama mendorong tanah ke depan, sedang *angledoser* mendorong tanah ke depan dan sebagian ke salah satu sisi, kanan atau kiri. *Hydraulic-controlled bulldoser* ada yang dapat menggerakkan *blade* arah memutar vertikal dengan sudut memutar sekitar ±15° saja. Ukuran *blade* ada bermacam-macam ukuran, dan pada ujung kanan kirinya terdapat plat penutup, agar sewaktu buldoser mendorong tanah tidak banyak yang tercecer ke samping (lihat *blade* pada Gambar 4.1). Hasil produksi dari buldoser sangat bervariasi dengan beberapa faktor di lapangan, di antaranya medan tempat beroperasi, termasuk kemi-ringan menanjak atau menurun, jenis tanah dan faktor operator.

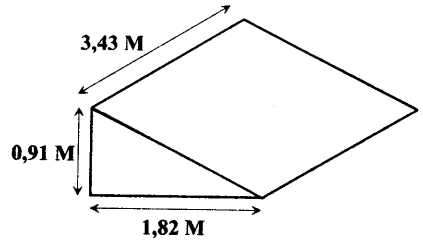
Pada lewatan yang pertama biasanya hampir semua tanah akan keluar dari pinggir kanan dan kiri *blade* dan membentuk jalur gundukan tanah di kanan dan kiri. Setelah jalur gundukan tersebut membentuk semacam parit (*slot*), maka tanah yang keluar menyingkir ke kanan dan kiri *blade* akan berkurang dan produksi buldoser akan bertambah. Untuk kegiatan pekerjaan yang memungkinkan dua buah buldoser dapat bekerja bersama secara berdampingan dengan masing-masing *blade* berdekatan, hal ini akan menambah hasil produksi sebanyak 50% jika dibandingkan dengan buldoser masing-masing bekerja sendiri-sendiri (Gambar 4.8).



Gambar 4.7 *Wheel-tractor-mounted buldoser*

Hasil produksi/output dari buldoser tergantung dengan ukuran dari *blade* dan jenis tanah yang diolahnya. Kapasitas dari *blade* dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut. Misalkan *blade* dengan ukuran panjang 3,43 M, tinggi 0,91 M mendorong tanah di dalam parit dengan ketinggian yang sama dengan tinggi *blade* yaitu 0,91 M, dengan demikian *blade* dapat mendorong tanah secara penuh. Kemiringan tanah di depan *blade* kita tentukan 2 : 1, dengan demikian volume tanah lepas (*loose volume*) adalah,

$$\frac{1,82 \times 0,91 \times 3,43}{2} = 2,84 \text{ M}^3$$



Karena tanah setelah dikikis mengembang 25%, jadi volume tanah asli (*bank volume*) adalah $\frac{2,84}{1,25}$ = 2,27 M³. Jika buldoser bekerja tanpa ada gundukan tanah di kanan dan kirinya/parit/*slot*, maka output dari buldoser akan berkurang ± 25% demikian juga jika tanah keras yang harus dipindahkan akan berkurang lagi ± 25%.

Sebagai contoh, misalnya buldoser harus mendorong dengan jarak 30 M, pada permukaan tanah yang datar, dan buldoser bekerja di dalam parit, yaitu kanan dan kiri dari *blade* sudah ada penahan dari tanah sebelumnya. *Blade* dengan ukuran seperti di atas yaitu panjang 3,43 M, tinggi 0,91 M, dan dari perhitungan di atas kapasitas *netto blade* adalah 2,27 M³ (*bank measure*). Faktor operasional dalam 1 jam hanya dapat beroperasi 50 menit. Kecepatan maju 2,5 KM/Jam, kecepatan mundur 4,5 KM/Jam. Waktu yang sudah tetap (*fixed time*), yaitu waktu untuk pindah gigi, menurunkan dan mengangkat *blade* 0,320 menit. Jadi waktu satu putaran (1 *cycle time*) adalah,

Waktu mendorong $\frac{30x60}{2,5x1000}$ = 0,720 menit
Waktu balik $\frac{30x60}{4,5x1000}$ = 0,400 menit
Fixed time = 0,320 menit
Waktu 1 trip = 1,440 menit
Jumlah trip per jam = $\frac{50}{1,440}$ = 34,722
Produksi per jam 34,722 x 2,27 M³ = 78,82 M³

Perhitungan di atas adalah dalam kondisi yang normal, sedangkan untuk di lapangan masih sangat tergantung dengan berbagai macam faktor lagi, misalnya kemiringan lokasi kerja, jenis tanah, dan lain-lain.

Untuk memperkirakan hasil produksi per jam dari buldoser dapat menggunakan Tabel 4.4.

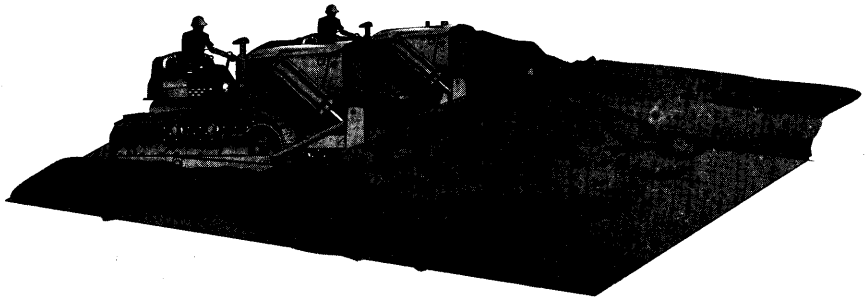
Tabel 4.4 *Output dari buldoser dalam M³ dari ukuran tanah asli (bank measure) dan hubungannya dengan kapasitas dari blade***

Panjang *blade*, M	Tinggi *blade*, M	*Tractor*, *Drawbar* hp	Kecepatan maju, KM/Jam	Kecepatan balik, KM/Jam	Kapasitas *blade*, M³	*Output*, M³ per jam		
						Jarak dorongan, M		
						30	60	90	120
3,429	1,156	130	2,74	5,96	3,67	141	80	57	44
3,124	1,156	80	2,25	6,11	3,36	116	66	46	35
2,895	0,965	65	2,25	6,27	2.14	75	42	29	22
2,489	0,965	65	2,25	6,27	1,83	64	36	25	19
2,184	0,825	43	2,74	3,05	1.15	36	20	14	11
1,727	0,698	32	2,74	3,38	0.69	22	12	8	7
3,404	1,092	210*	2,58	13,02	3,21	136	79	46	43
3,429	0,914	122*	2,58	13,02	2,29	97	56	40	30

* nilai roda *gaya horsepower untuk wheel-mounted dosers*

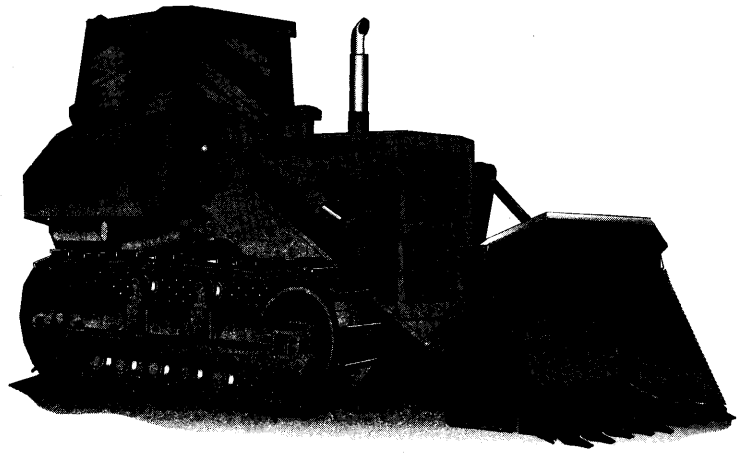
** Sumber dari: Peurifoy, Construction Planning, Equipment, And Methods

Nilai-nilai dalam Tabel 4.4 berdasarkan beban tanah penuh dengan buldoser bekerja dalam parit/*slots*. Buldoser maju dengan dorongan beban tanah penuh dengan menggunakan gigi satu, dan mundur kembali dengan gigi mundur. Buldoser diperkirakan bekerja 50 menit per jam. Hasil produksi buldoser tersebut adalah dalam volume tanah asli (*bank volume*). Nilai output dalam Tabel 4.4 ini adalah untuk perkiraan awal, sedangkan jika kondisi tanah yang sulit, atau medan tempat bekerja sangat menyulitkan, misalnya tanah berbatu, atau dasar tanah yang berlumpur, maka perlu nilai-nilai tersebut dimodifikasi dengan dasar pengalaman dan tes lapangan.



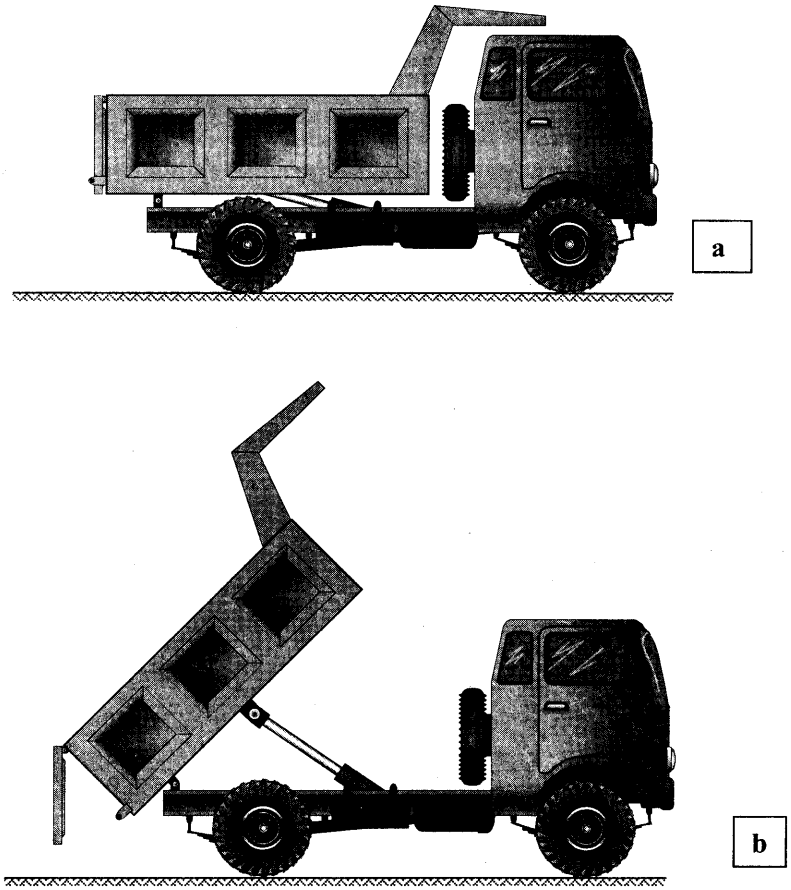
Gambar 4.8 *Pengoperasian dengan menggunakan dua buldoser yang berdampingan dengan cara mendekatkan masing-masing blade sehingga manaikkan output dari buldoser*

Setelah buldoser bekerja memotong tanah, harus dikumpulkan/di stok pada tempat yang sudah ditentukan, untuk proses berikutnya yaitu pengangkutan tanah, yang harus dibawa ke tempat yang sudah ditentukan pula. Proses pemuatan tanah ini dikerjakan dengan mesin/alat muat ke dalam bak *dump-truck*. Alat muat ini dapat berupa *track loader* (Gambar 4.9), *wheel loader* (Gambar 4.10), dan *backhoe* (Gambar 4.6); dan alat pengangkutan tanah yaitu *dump-truck* (Gambar 4.11) yang dapat menumpahkan muatan tanah pada lokasi yang sudah ditentukan.



Gambar 4.9 *Track loader*

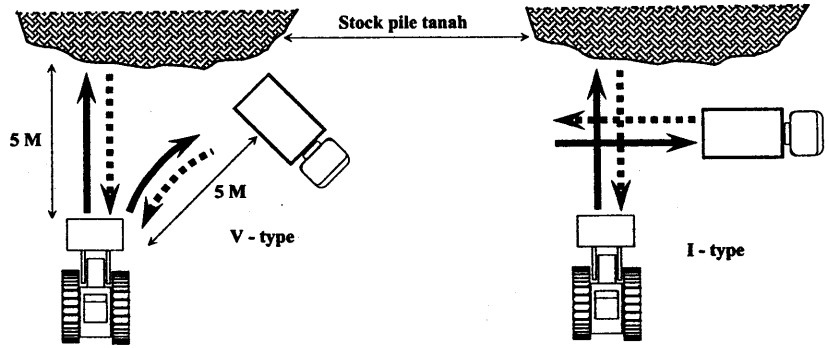
Gambar 4.10 *Wheel loader*



Gambar 4.11 *a. Dump truck dengan posisi normal untuk menerima muatan atau membawa muatan; b. dump truck dengan posisi membuang/ mengeluarkan muatan*

Ada dua tipe dari mesin *tractor-shovels*, yaitu *wheel-tractor-mounted* dan *crawler-tractor-mounted*. Keduanya juga sering disebut *wheel loader* dan *track loader*. *Track loader* digunakan pada permukaan tanah yang licin. Alat-alat ini sangat bermanfaat pada pembangunan, untuk memuat tanah dan batuan, ke dalam bak dari *dump-truck*, bahkan dapat untuk menggali tanah lunak.

Klasifikasi dari kedua jenis alat ini adalah kapasitas *bucket* atau dapat juga berat material yang dapat dibawa. Cara pemuatan dengan menggunakan *wheel loader* maupun *track loader* ke dalam bak dari *dump-truck*, ada dua sistem, seperti dalam Gambar 4.12.



Gambar 4.12 *Dua cara pemuatan loader ke dalam bak dari dump truck, V-tipe dan I-tipe*

4.5 Menghitung Produksi *Track loader*

Produksi dari *track loader* tergantung dari:

- Waktu yang diperlukan yang sudah tertentu/*fixed time*, yaitu untuk mengisi *bucket*, memindah roda gigi/*versnelling*, membelok arah, dan menumpahkan ke dalam bak dari *truck*.
- Waktu yang diperlukan untuk perjalanan dari tempat pengisian *bucket* (*stock pile* tanah) ke posisi penumpahan *bucket* (ke dalam bak *truck*).
- Waktu yang diperlukan untuk kembali pada posisi pengisian *bucket*.
- Volume material yang diangkat setiap *trip*.

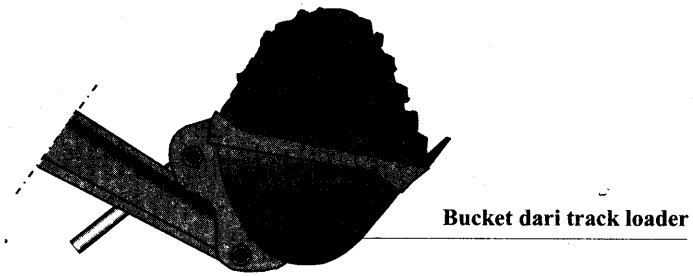
Dengan mengambil cara pemuatan seperti Gambar 4.12 sebelah kiri, untuk salah satu jenis *track loader* dengan *heap capacity* (lihat Gambar 4.13) dari *bucket* 1,5 M^3, dan dengan kecepatan *track loader* sebagai berikut,

Gigi	maju	mundur
1	0 - 3,3 KM/jam	0 - 4,3 KM/jam
2	0 - 5,8 KM/jam	0 - 7,8 KM/jam
3	0 - 9,6 KM/jam	0 - 12,1 KM/jam

Dalam operasi ini *track loader* menggunakan gigi 2, dengan kecepatan 80% kecepatan maksimumnya, baik maju maupun mundur.

Cycle time dari *track loader* adalah,

- Waktu yang sudah tertentu/*fixed time*, yaitu waktu yang diperlukan untuk mengisi *bucket*, memindah roda gigi/*versnelling*, membelok arah, menumpahkan ke dalam bak dari *truck*, 0,40 menit. Dalam menentukan waktu ini perlu dipelajari di lapangan karena tergantung kondisi lapangan dan material yang akan diambil.
- Waktu yang diperlukan untuk perjalanan dari tempat pengisian *bucket* ke posisi penumpahan *bucket* ke dalam bak *truck*, $10 : (5{,}8 \times \frac{1000}{60} \times 80\%) = 0{,}13$ menit.
- Waktu yang diperlukan untuk kembali pada posisi pengisian *bucket*, $10 : (7{,}8 \times \frac{1000}{60} \times 80\%) = 0{,}10$ menit



Gambar 4.13 *Heap volume, dengan isian yang teronggok/stapel*

Jadi *cycle time* dari *track loader* adalah 0,40 + 0,13 + 0,10 = 0,63 menit.

Seperti tersebut di atas *heaped capacity* adalah 1,5 M^3, tetapi akan kita anggap secara rata-rata adalah 90% x 1,5 M^3 = 1,35 M^3.

Dengan demikian produksi *track loader* per 60 menit dengan *loose material* adalah, $\frac{60}{0{,}63} \times 1{,}35 = 128{,}57\ M^3$. Jika faktor penambahan volume dari *bank material* menjadi *loose material* adalah 25%, dan *track loader* bekerja selama 45 menit dalam 1 jam, maka produksi *track loader* per jam dengan kondisi *bank material*/tanah asli adalah, $\frac{128{,}57}{1{,}25} \times \frac{45}{60} = 77{,}14\ M^3$.

Di atas disebutkan *track loader* bekerja 45 menit dalam 1 jam, hal ini adalah merupakan perkiraan, yang mungkin dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan, faktor operator, dan kondisi mesin *track loader*.

Pada galian tanah keras ada bermacam-macam, dapat berupa *tuff* atau cadas, *conglomerate*, atau tanah yang bercampur dengan batu-batu besar. Volume yang tercantum dalam Tabel 4.6 adalah dalam kondisi *bank*, yaitu tanah asli yang belum diusik. Faktor pengembangan karena telah digali diasumsikan 25%. *Track loader* akan bekerja secara efisien jika tanah sudah dipotong oleh buldoser, dan di*stock*/ditimbun dalam suatu *stock pile*, sehingga *track loader* memuat tanah ke dalam *bucket* dalam keadaan *loose*/tanah lepas.

Dan muatan dalam *bucket* diasumsikan sebesar 90% dari kapasitas *bucket*. Sehingga *volume bank* yang dapat dimuat oleh *bucket* adalah $\frac{\text{volume loose}}{1{,}25}$ dan untuk mendapatkan produksi per jam efektif dari *track loader* untuk tanah kondisi *bank* adalah (volume tanah bank dalam sebuah *bucket*) x (jumlah *trip* per jam). Perhitungan jumlah *trip* per jam dari *track loader* adalah seperti dalam Tabel 4.5. Dalam tabel disajikan volume tanah dalam kondisi *bank*, karena untuk mempermudah dalam perhitungan volume. Seperti kita ketahui volume yang kita hitung dari sebuah dokumen gambar perencanaan adalah *volume bank*. Dengan demikian akan mempermudah dalam perencanaan perhitungan, jumlah alat *track loader* yang diperlukan, dan lama waktu pelaksanaan yang diperlukan.

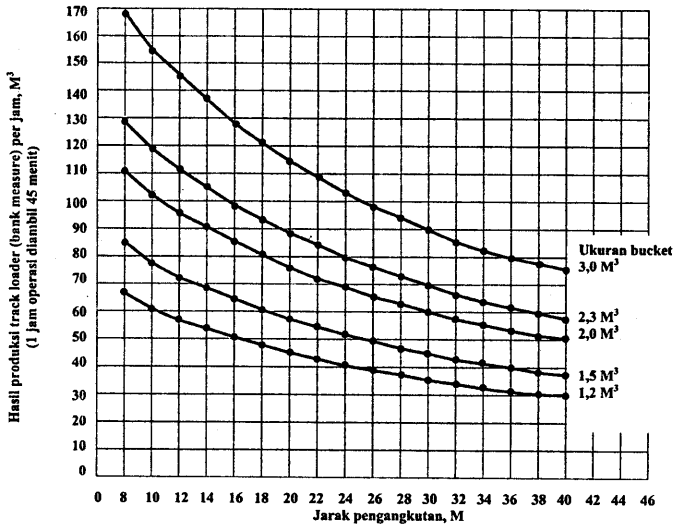
Tabel 4.5 *Menentukan "waktu satu putaran/cycle time" dan "jumlah trip per jam" dari alat track loader dengan bermacam variasi jarak pengangkutan*

Jarak pengangkutan (meter)	Waktu yang sudah tertentu/ *fixed time* (menit)	Waktu perjalanan mengangkut (menit)	Waktu untuk kembali ke posisi semula (menit)	Waktu satu putaran/*cycle time* (menit)	Jumlah *trip* per jam
a	b	$c = \frac{a}{\left(5{,}8 \times \frac{1000}{60} \times 80\%\right)}$	$d = \frac{a}{\left(7{,}8 \times \frac{1000}{60} \times 80\%\right)}$	e = b + c + d	$f = \frac{45}{e}$ (kerja efektif dalam 1jam diasumsikan selama 45 menit)
8	0,40	0,10	0,08	0,58	77,6
10	0,40	0,13	0,10	0,63	71,4
12	0,40	0,16	0,11	0,67	67,2
14	0,40	0.18	0,13	0,71	63,4
16	0,40	0,21	0,15	0,76	59,2
18	0,40	0,23	0,17	0,80	56,3
20	0,40	0,26	0,19	0,85	52,9
22	0,40	0,28	0,21	0,89	50,5
24	0,40	0,31	0,23	0,94	47,9
26	0,40	0,34	0,25	0,99	45,5
28	0,40	0,36	0,27	1,03	43,7
30	0,40	0,39	0,29	1,08	41,7
32	0,40	0,41	0,31	1,14	39,5
34	0,40	0,44	0,33	1,17	38,5
36	0,40	0,47	0,35	1,22	36,9
38	0,40	0,49	0,37	1,26	35,7
40	0,40	0,51	0,38	1,29	34,9

Tabel 4.6 *Produksi volume tanah per jam efektif kondisi bank yang dapat dihasilkan oleh track loader, dari beberapa jenis ukuran bucket, dan beberapa jenis jarak pengangkutan, dalam M^3*

Jarak pengangkutan (meter)	Ukuran *bucket* (M^3)									
	Loose	*Bank*	*Loose*	*Bank*	*Loose*	*Bank*	*Loose*	*Bank*	*Loose*	*Bank*
	1,2	$\frac{1,2}{1,25} \times 0,9 = 0,86$	1,5	$\frac{1,5}{1,25} \times 0,9 = 1,08$	2	$\frac{2}{1,25} \times 0,9 = 1,44$	2,3	$\frac{2,3}{1,25} \times 0,9 = 1,66$	3	$\frac{3}{1,25} \times 0,9 = 2,16$
8		66,74		83,81		111,74		128,82		167,62
10		61,40		77,11		102,82		118,52		154,22
12		57,79		72,58		96,77		111,55		145,15
14		54,52		68,47		91,30		105,24		136,94
16		50,91		63,94		85,25		98,27		127,87
18		48,42		60,80		81,07		93,46		121,61
20		45,49		57,13		76,18		87,81		114,26
22		43,43		54,54		72,72		83,83		109,08
24		41,19		51,73		68,98		79,51		103,46
26		39,13		49,14		65,52		75,53		98,28
28		37,58		47,20		62,93		72,54		94,39
30		35,86		45,04		60,05		69,22		90,07
32		33,97		42,66		56,88		65,57		85,32
34		33,11		41,58		55,44		63,91		83,16
36		31,73		39,85		53,14		61,25		79,70
38		30,70		38,56		51,41		59,26		77,11
40		30,01		37,69		50,26		57,93		75,38

Dari hasil perhitungan dalam tabel 4.6 tersebut dapat dibuat sebuah gambar grafik (Gambar 4.14) yang menunjukkan produksi per jam (dalam 1 jam kerja efektif *track loader* adalah 45 menit), dengan berbagai macam jarak pengangkutan dan berbagai macam volume ukuran *bucket*. Faktor mengembangnya tanah dari *bank material* ke *loose material* adalah 25%, dan volume aktual dari tanah di dalam *bucket* diasumsikan 90% dari volume kapasitas *bucket*. Dari grafik Gambar 4.14 tersebut dapat diperoleh perkiraan produksi dari *track loader* dengan segera.



Gambar 4.14 *Hasil produksi track loader*

Untuk menghitung hasil produksi dari *wheel loader* pada prinsipnya sama dengan *track loader*. Tetapi *wheel loader* mempunyai kecepatan maju dan mundur lebih cepat dan waktu untuk *manoeuvre* lebih singkat, sehingga untuk kondisi tanah datar akan mempunyai output yang lebih besar dari *track loader*. Kecepatan *wheel loader* bervariasi tergantung dengan tipe dari negara pabrik pembuatnya. Kecepatan sesuai gigi *versnelling* berkisar antara 7 KM/jam sampai 40 KM/jam. Jika diambil rata-ratanya sewaktu operasi, kecepatan *wheel loader* dengan muatan adalah 5 KM/Jam maju maupun mundur, sedangkan kecepatan tanpa muatan maju maupun mundur untuk jarak sampai dengan 30 M adalah 10 KM/Jam, dan kecepatan tanpa muatan maju maupun mundur untuk jarak lebih dari 30 M adalah 14 KM/Jam. Kecepatan tersebut di atas adalah dengan kondisi tanah dasar yang datar, tetapi jika kondisi lapangan yang kurang menguntungkan, perlu dikalikan dengan faktor sesuai kondisinya dan diperkirakan di lapangan sesuai percobaan dan pengalaman. Untuk waktu yang tetap (*fixed time*) yaitu waktu untuk mengganti gigi *versnelling*, berganti arah, dan mengambil muatan, diasumsikan 0,35 menit.

Untuk mendapatkan produksi per jam efektif dari *wheel loader* untuk tanah kondisi *bank* adalah, (volume tanah bank dalam sebuah *bucket*) x (jumlah *trip* per jam). Perhitungan jumlah *trip* per jam dari *wheel loader* adalah seperti dalam Tabel 4.7.

Dari hasil perhitungan dalam Tabel 4.8 dapat dibuat sebuah gambar grafik (Gambar 4.15) yang menunjukkan produksi per jam (dalam 1 jam kerja efektif *wheel loader* adalah 45 menit), dengan berbagai macam jarak pengangkutan dan berbagai macam volume ukuran *bucket*. Faktor mengembangnya tanah dari *bank material* ke *loose material* adalah 25%, dan volume aktual dari tanah di dalam *bucket* diasumsikan 90% dari volume kapasitas *bucket*. Karena kecepatan tanpa muatan maju maupun mundur untuk jarak sampai dengan 30 M adalah 10 KM/Jam, dan kecepatan tanpa muatan maju maupun mundur untuk jarak lebih dari 30 M adalah 14 KM/Jam, maka dalam Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 dan juga pada grafik (Gambar 4.15), terdapat beda penyelesaian pada jarak < 30 M dan > 30 M. Dari Gambar 4.15 tersebut dapat segera diperoleh perkiraan produksi dari *wheel loader*, dengan ketentuan-ketentuan yang telah disebutkan di atas, yaitu kondisi tanah dasar, faktor pengembangan tanah dari *loose* ke *bank material*, waktu efektif operasional dalam jam operasi, dan prosentase pengisian *bucket*.

Tabel 4.7 *Menentukan "waktu satu putaran/cycle time" dan "jumlah trip per jam" dari alat wheel loader dengan bermacam variasi jarak pengangkutan; .*

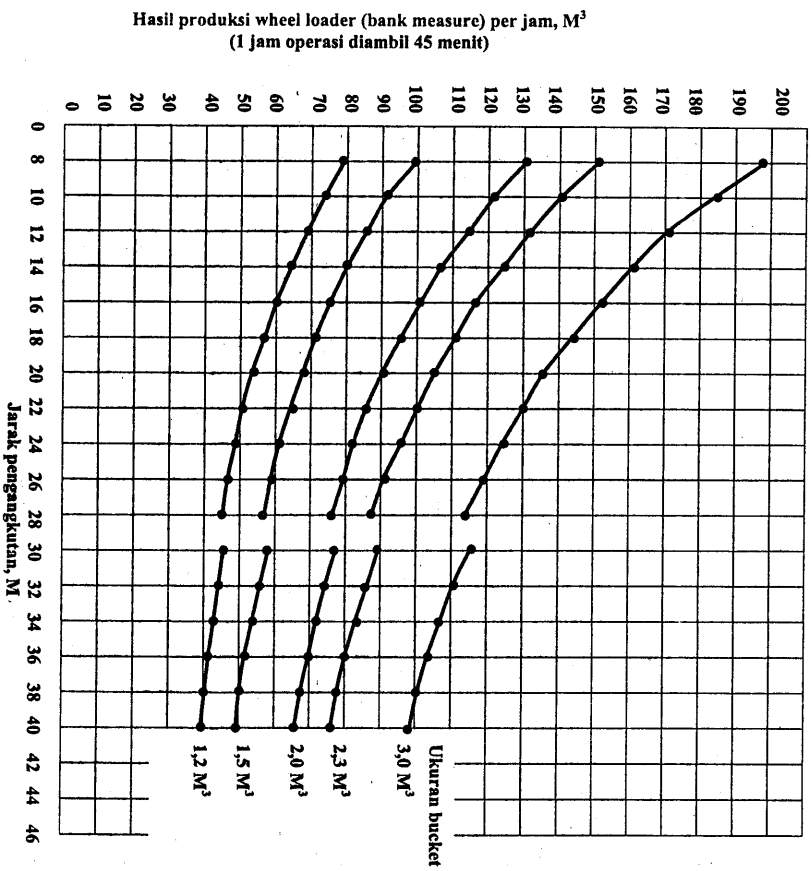
Jarak pengangkutan (meter)	Waktu yang sudah tertentu/*fixed* time (menit)	Waktu perjalanan mengangkut (menit)	Waktu untuk kembali ke posisi semula (menit)	Waktu satu putaran/*cycle time* (menit)	Jumlah *trip* per jam
a	b	$c = \frac{a}{\left(5 \times \frac{1000}{60}\right)}$	$d = \frac{a}{\left(10 \times \frac{1000}{60}\right)}$	e = b + c + d	$f = \frac{45}{e}$ (kerja efektif dalam 1jam diasumsikan selama 45 menit)
8	0,35	0,096	0,048	0,494	91,093
10	0,35	0,120	0,060	0,530	84,905
12	0,35	0,144	0,072	0,566	79,505
14	0,35	0,168	0,084	0,602	74,751
16	0,35	0,192	0,096	0,638	70,533
18	0,35	0,216	0,108	0,674	66,765
20	0,35	0,240	0,120	0,710	63,380
22	0,35	0,264	0,132	0,746	60,322
24	0,35	0,288	0,144	0,782	57,545
26	0,35	0,312	0,156	0,818	55,012
28	0,35	0,336	0,168	0,854	52,693

Tabel 4.7 *Lanjutan*

Jarak pengangkutan (meter)	Waktu yang sudah tertentu/*fixed* time (menit)	Waktu perjalanan mengangkut (menit)	Waktu untuk kembali ke posisi semula (menit)	Waktu satu putaran/*cycle time* (menit)	Jumlah *trip* per jam
a	b	$c = \frac{a}{\left(5 \times \frac{1000}{60}\right)}$	$d = \frac{a}{\left(10 \times \frac{1000}{60}\right)}$	e = b + c + d	$f = \frac{45}{e}$ (kerja efektif dalam 1jam diasumsikan selama 45 menit)
30	0,35	0,360	0,128	0,838	53,699
32	0,35	0,384	0,137	0,871	51,664
34	0,35	0,408	0,146	0,904	49,778
36	0,35	0,432	0,154	0,936	48,077
38	0,35	0,456	0,163	0,969	46,440
40	0,35	0,480	0,171	1,001	45,000

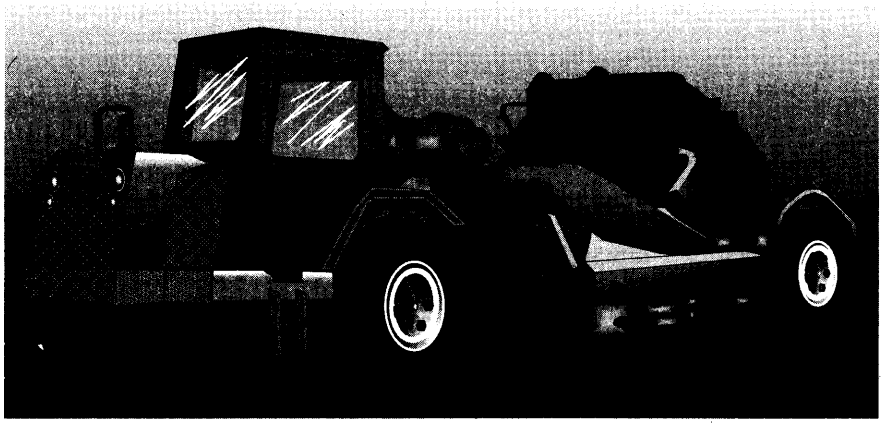
Tabel 4.8 *Produksi volume tanah per jam efektif kondisi bank yang dapat dihasilkan oleh wheel loader, dari beberapa jenis ukuran bucket, dan beberapa jenis jarak pengangkutan, dalam M³*

Jarak pengangkutan (meter)	Ukuran *bucket* (M3)									
	Loose	*Bank*	*Loose*	*Bank*	*Loose*	*Bank*	*Loose*	*Bank*	*Loose*	*Bank*
	1,2	$\frac{1,2}{1,25}$ x0,9 = 0,86	1,5	$\frac{1,5}{1,25}$ x0,9 = 1,08	2	$\frac{2}{1,25}$ x0,9 = 1,44	2,3	$\frac{2,3}{1,25}$ x0,9 = 1.66	3	$\frac{3}{1.25}$ x0,9 = 2.16
8		78,340		98,380		131,174		151,214		196,761
10		73,018		91,697		122,263		140,942		183,395
12		68,374		85,865		114,487		131,978		171,731
14		64,286		80,731		107,641		124,087		161,462
16		60,658		76,176		101,567		117,085		152,351
18		57,418		72,106		96,142		110,830		144,212
20		54,507		68,450		91,267		105,211		136,901
22		51,877		65,148		86,864		100,134		130,295
24		49,489		62,149		82,865		95,525		124,297
26		47,310		59,413		79,217		91,320		118,826
28		45,316		56,908		75,878		87,470		113,817
30		46,181		57,995		77,326		89,140		115,990
32		44,431		55,797		74,396		85,762		111,594
34		42,809		53,760		71,680		82,631		107,520
36		41,346		51,923		69,231		79,808		103,846
38		39,938		50,155		66,873		77,090		100,310
40		38,700		48,600		64,800		74,700		97,200



Gambar 4.15 *Hasil produksi wheel loader*

Alat *earth-moving* yang sangat langka terdapat di sini, adalah *Scrapers*. *Scrapers* dapat sekaligus menangani beberapa alat, karena alat ini dapat memuat, mengangkut/membawa dan menumpahkan tanah di lokasi lain (gambar 4.16). Untuk pekerjaan *cut and fill* pada proyek jalan, lapangan terbang dan proyek-proyek besar lainnya sangat cocok sekali. Kapasitas pemuatan material di dalam perutnya dapat mencapai ± 40 M³. Kedalaman untuk pemotongan tanah, mesin ini terbatas, jadi untuk kasus-kasus pekerjaan tertentu mesin ini kurang efektif.



Gambar 4.16. *Sketsa salah satu bentuk scrapers*

Gambar 4.17. *Salah satu tipe dari scrapers pada konstruksi suatu proyek jalan*

Ada tipe *scrapers* dengan roda ban dan ada pula dengan rantai/*track* seperti buldoser.

Cara kerja scraper. Di dalam badan *scraper* mempunyai wadah/*container* yang disebut *bowl*, yang bagian bawahnya sudah terpasang *blade*/*cutting edge*/pisau pemotong. Dengan menurunkan *bowl* sampai posisi *blade* masuk ke dalam tanah dengan kedalaman tertentu, bersamaan dengan itu ada penutup yang disebut *apron*, naik ke atas dan membuka sehingga membuat celah sedemikian sehingga tanah dapat masuk ke dalam *bowl*. Dengan *scraper* berjalan maju, maka selapis tanah terdorong masuk ke dalam *bowl*, sampai *bowl* penuh dengan tanah. Kemudian *blade* dinaikan dan *apron* diturunkan sehingga menutup *bowl*, agar tanah tidak keluar selama perjalanan pengangkutan tanah tersebut.

Proses untuk mengeluarkan tanah (*dumping operation*), adalah: menurunkan posisi *blade* sampai pada posisi dari elevasi rencana timbunan (*fill*), menaikan *apron*, dan mengeluarkan tanah atau muatan lainnya melalui celah antara *blade* dan *apron* dengan menggunakan *movable ejector* yang dipasang pada bagian belakang dari *bowl*, menekan tanah keluar.

Cycle time dari scraper adalah (*fixed time*) + (*variable time*). *Fixed time* adalah (waktu yang diperlukan *scraper* untuk memuat material ke dalam *bowl*/*loading*) + (waktu yang diperlukan *scraper* untuk mengeluarkan material/*dumping*) + (waktu untuk memutar) + (waktu percepatan) + (waktu perlambatan). Sedangkan *variable time* adalah (waktu *scraper* dalam perjalanan dengan membawa muatan) + (waktu *scraper* kembali ke posisi memuat material). Waktu yang diperlukan untuk percepatan dan perlambatan sampai dengan kecepatan yang diperlukan sangat bervariasi. Dengan semakin tinggi kecepatan *scrapers* maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk percepatan maupun perlambatan sampai mencapai kecepatan yang diperlukan. Tabel 4.9 adalah merupakan perkiraan nilai waktu *fixed time* untuk menghitung produksi *scrapers*. Dalam tabel tersebut tampak bahwa semakin besar kecepatan dari *scrapers*, maka semakin lama pula *fixed time* dari perlambatan dan percepatannya.

Tabel 4.9 *Perkiraan elemen-elemen dari fixed time untuk wheel scrapers (dalam menit)*

Elemen-elemen dari *fixed time*	Kecepatan *scraper* mengangkut material, KM/Jam											
	8 - 12 KM/Jam			12 - 24 KM/Jam			24 - 48 KM/Jam					
	Kondisi medan baik	Kondisi medan sedang	Kondisi medan tidak baik	Kondisi medan baik	Kondisi medan sedang	Kondisi medan tidak baik	Kondisi medan baik	Kondisi medan sedang	Kondisi medan tidak baik			
Muat material (*loading*)	0,8	1,0	1,4	0,8	1,0	1,4	0,8	1,0	1,4			
Bongkar muatan (*dumping*) dan memutar	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6			
Percepatan dan perlambatan	0,3	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	2,0			
Jumlah (*fixed time*)	1,5	1,9	2,6	1,8	2,3	3,0	2,2	3,0	4,0			

Sumber dari Peurifoy, *Construction Planning, Equipment, and Methods, McGraw* - Hill Kogakusha, Ltd

Contoh.

Sebuah *scraper* harus memindahkan tanah dengan jarak 600 meter dengan kecepatan rata-rata dengan muatan material 20 KM/Jam dan kecepatan kembali ke tempat pemuatan material 40 KM/Jam. Kondisi medan adalah tidak baik. Tentukan *cycle time* dari operasi *scraper* tersebut.

Dari kondisi medan yang tidak baik dan kecepatan mengangkut material 20 KM/Jam, maka kita tentukan *fixed time* dari Tabel 4.9, yaitu 3 menit.

Waktu yang diperlukan untuk mengangkut material (*haul time*) $\frac{600x60}{20x1000}$ = 1,8 menit

Waktu yang diperlukan untuk kembali ke tempat pemuatan $\frac{600x60}{40x1000}$ = 0,9 menit

Cycle time = 3 + 1,8 + 0,9 = 5,7 menit.

Seperti pada perhitungan *loader*, perlu ada faktor dalam perhitungan waktu operasional. Jika dalam waktu 1 jam secara efektif operasionalnya hanya 45 menit, atau berarti faktor waktu operasionalnya adalah $\frac{45}{60}$ = 0,75. Tetapi dalam menentukan faktor ini perlu ada percobaan terlebih dahulu di lapangan, sehingga dapat lebih mewakili dan perlu diusahakan memperbesar faktor agar pekerjaan dapat lebih efisien, terutama bagi kontraktor dalam pengendalian waktu. Dalam menentukan faktor ini biasa digunakan *stop-watch* dan dilakukan beberapa kali sehingga didapat angka yang mewakili seperti kondisi aktual. Dari contoh di atas jumlah *trip* adalah $\frac{60x0,75}{5,7}$ = 7,89 *trip* per jam. Kemudian untuk menghitung produksi *scraper* per jam adalah (jumlah *trip* per jam) x (rata-rata volume tiap angkutan).

Seperti kita ketahui bahwa, terutama para kontraktor, untuk mendapatkan profit yang besar, dengan tidak menaikkan harga satuan, maka perlu metode kerja yang cocok dan baik. Dengan menggunakan *scraper* ini kadang-kadang kita menjumpai jenis dan

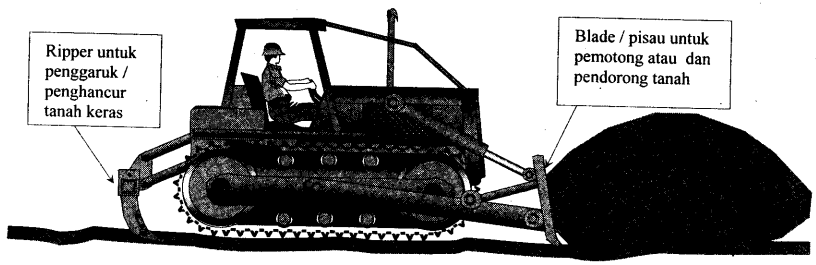
kondisi tanah yang perlu penanganan awal, karena jika langsung dikerjakan dengan *scraper* akan memperbesar *cycle time* atau memperkecil jumlah *trip* per jam. Misalnya jika *scrapers* menghadapai jenis tanah keras, *tuff* atau tanah yang sangat padat, maka sebelum *scrapers* bekerja, tanah tersebut harus dibongkar terlebih dahulu (*to rip open*), dengan menggunakan *ripper* (lihat Gambar 4.18). Para *site engineer* harus memperhitungkan tambahnya biaya operasi menggunakan buldoser dan *ripper*. Sebagai tolok ukurnya adalah biaya yang dikeluarkan untuk per M^3 tanah yang sudah jadi.

Kasus lain adalah jika menghadapi tanah biasa yang sangat kering tetapi sangat padat. Jenis ini perlu dipertimbangkan dengan *prewetting method*, yaitu dengan membasahi terlebih dahulu tanah tersebut, sehingga *scrapers* dapat bekerja lebih efisien. Tetapi perlu ada kru laboratorium di lapangan, yang harus menentukan jumlah air yang harus disiramkan sehingga tercapai *optimum moisture content*. Dengan demikian ada tambahan manfaat, tanah yang telah ditebar di daerah timbunan (*fill*) sudah tidak perlu peralatan *water-trucks*.

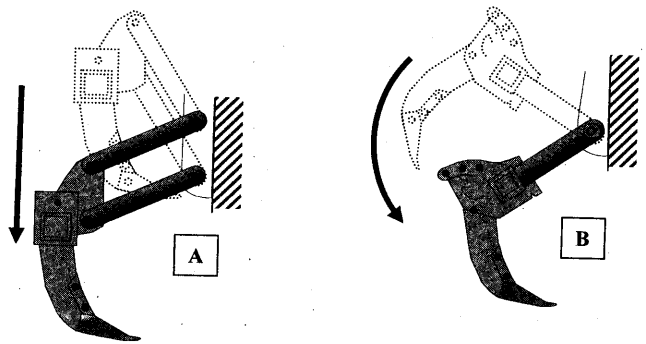
4.6 Pemotongan pada Tanah Keras dan Cadas yang Lunak

Untuk pemotongan/penggalian tanah cadas yang agak lunak dapat dengan menggunakan buldoser saja, yaitu cadas tersebut digaruk terlebih dahulu dengan *ripper* dari buldoser tersebut. Tanah cadas yang hancur setelah digaruk dengan *ripper*, kemudian dipotong dan didorong dengan *blade* di depan untuk dikumpulkan pada suatu tempat tertentu yang merupakan *stock* untuk diproses berikutnya (Gambar 4.18). Ada dua tipe mesin *ripper* yaitu *wheel-mounted towed-type ripper*, yaitu berupa *ripper* yang dipasang pada kereta roda dan ditarik dengan *tractor*; dan tipe yang lain adalah *tractor-mounted hydraulically operated*, yaitu berupa *ripper* yang terpasang di belakang buldoser, dan dapat digerakan dengan cara hidrolis.

Selain itu ada dua tipe sambungan dan cara bekerja *ripper*, yang dipasang pada bagian belakang *doser*. Tipe yang bergerak dengan cara paralel pada Gambar 4.19 (A), dengan menggunakan batang penggerak yang sejajar sedemikian rupa sehingga pisau dari *ripper* akan bergerak dengan sudut yang selalu sama pada beberapa kedalaman tanah. Tipe *ripper* semacam ini biasanya menghasilkan garukan tanah lebih halus. Tipe kedua adalah bergerak dengan melalui engsel, seperti pada Gambar 4.19 (B). Dengan tipe ini sudut dari gigi *ripper* akan selalu berubah pada beberapa kedalaman tanah. Tipe ini dapat bermanfaat untuk tanah yang banyak mengandung batu/*bolder*, karena *ripper* dapat untuk mencongkel batu-batuan.



Gambar 4.18 *Buldoser dengan dilengkapi ripper*



Gambar 4.19 *A. Ripper yang bergerak secara paralel. B. Ripper yang bergerak melalui engsel*

Kapan dan pada kasus jenis tanah yang bagaimana *ripper* dapat digunakan secara efisien. Cara untuk mengetahui ini adalah dengan *seismographic method*, yaitu dengan cara menentukan kecepatan perambatan gelombang suara pada batuan di bawah permukaan tanah. Kecepatan perambatan gelombang suara ini akan berbeda-beda pada batuan yang keras dan yang lunak, sehingga dengan mengukur kecepatan perambatan suara ini dapat ditentukan penggalian dengan *ripper* atau harus dengan cara peledakan; karena jika sangat keras terpaksa harus dengan cara peledakan. Cara peledakan akan dibahas pada uraian selanjutnya.

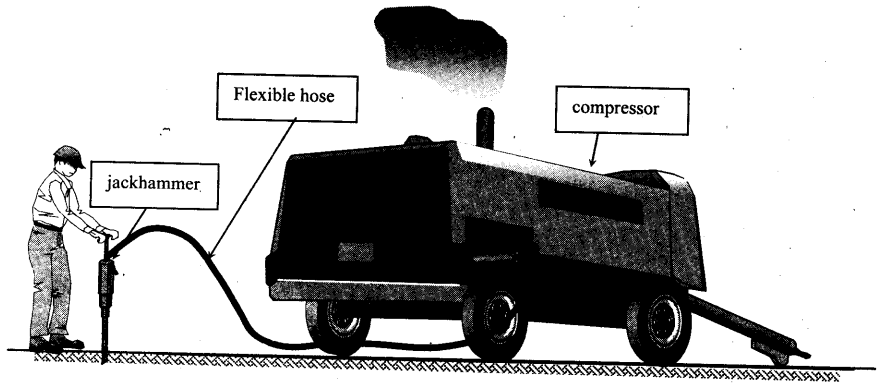
4.7 Pemotongan Cadas Keras dan Batuan Keras/ Rock

Cadas batuan yang keras, di mana batasannya adalah penggarukan dengan *ripper* dari buldoser sudah tidak mampu lagi, maka cara penggaliannya ada dua macam, berdasarkan:

- volume tanah yang harus digali hanya sedikit atau tanah yang harus dipotong tipis saja.
- volume tanah yang harus digali sangat besar dan tebal.

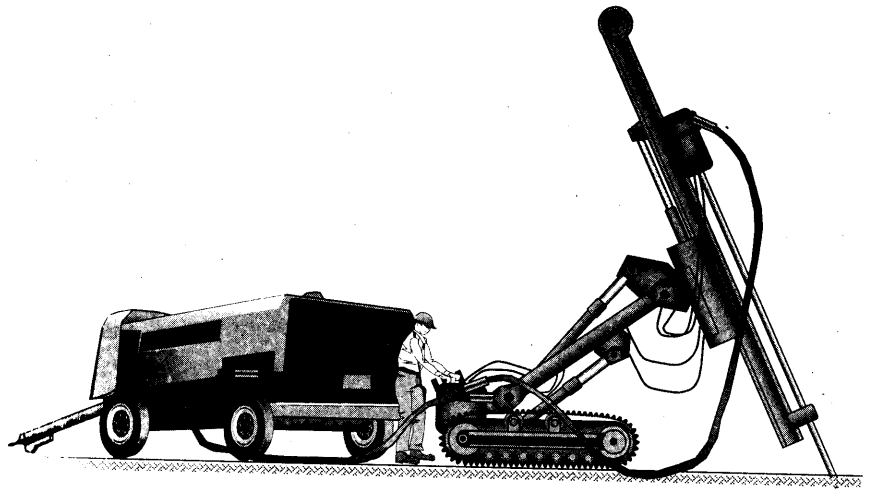
Kita bahas jika volume tanah yang harus digali hanya sedikit atau tanah yang harus dipotong tipis saja. Dalam kondisi semacam ini kita cukup dengan menggunakan *jackhammers* (Gambar 4.20). Di sini kita perlu menggunakan mesin *compressor* yang besar sehingga cukup untuk beberapa *jackhammers*. Mata *jackhammers* berupa pahat, untuk memotong batuan.

Jika tanah yang harus dipotong sangat tebal dan sangat banyak volumenya, maka perlu dipertimbangkan dengan menggunakan cara peledakan. Pada dasarnya peledakan adalah merupakan metode bantuan agar pelaksanaan penggalian tanah batuan yang keras dapat terlaksana dengan mudah.



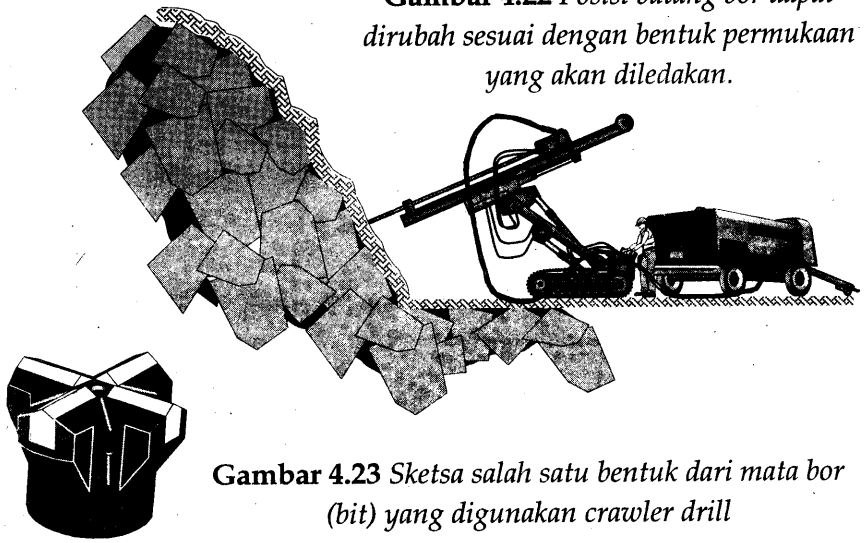
Gambar 4.20. *Penggunaan jackhammer untuk pemotongn tanah keras. Perlu menggunakan mesin compressor yang besar agar dapat digunakan untuk beberapa mesin jackhammers*

Dengan peledakan berarti akan menjadikan tanah batuan menjadi lepas berkeping-keping halus, karena energi yang dihasilkan oleh bahan peledak, sehingga mudah diambil maupun didorong dengan mesin buldoser.



Gambar 4.21. *Track-mounted drill ada yang menyebut crawler drill, menggerakkan mesin dengan compressor*

Gambar 4.22 *Posisi batang bor dapat dirubah sesuai dengan bentuk permukaan yang akan diledakan.*



Gambar 4.23 *Sketsa salah satu bentuk dari mata bor (bit) yang digunakan crawler drill*

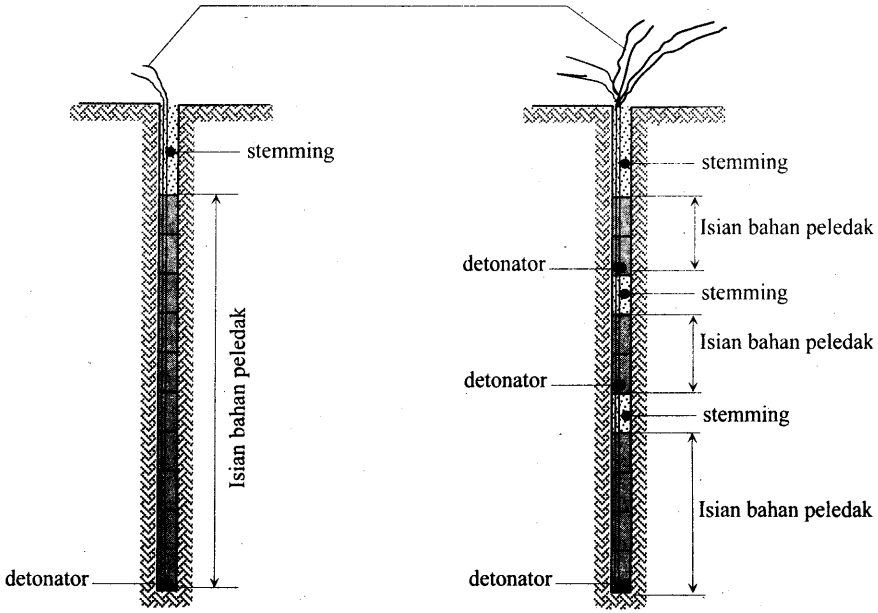
Pembuatan lubang dengan mesin, biasanya menggunakan *crawler drill* (ada yang menyebut *track-mounted drill*), yang dapat membuat lubang dengan diameter dari 1" sampai 6", tergantung kebutuhan besar energi peledakannya (Gambar 4.21) dan kedalaman bisa sampai mencapai 15 M bahkan lebih dari itu. Mesin *crawler drill* ini dapat untuk mengebor dengan beberapa posisi, sehingga cara pengeborannya dapat membentuk sudut terhadap posisi vertikal (Gambar 4.22). Ujung untuk mengebor batu, biasa disebut mata bor/*bit*, adalah bagian yang sangat penting (Gambar 4.23). Kegiatan pengeboran ini akan berhasil jika *bit* akan bertahan cukup lama dan masih tetap tajam. Dengan terlalu sering mengganti *bit* karena cepat tumpul akan mengakibatkan pertambahan biaya. Untuk itu perlu menggunakan jenis dan tipe bit yang cocok untuk jenis batuan yang akan dibor. Setelah selesai pembuatan lubang, kemudian bahan peledak dimasukan dalam lubang tersebut dengan cara dan kedalaman tertentu.

4.7.1 Bahan Peledak

Untuk proyek-proyek semacam ini biasanya dengan menggunakan bahan peledak *ammonium nitrate*, baik peledakan di permukaan maupun di bawah tanah/terowongan. Beberapa buku menyebutkan harganya lebih murah dibanding dengan dinamit, yang unsur pokoknya adalah *nitro-glycerin*. Dengan menggunakan bahan peledak *ammonium nitrate*, akan lebih aman karena meledaknya bahan ini harus dengan menggunakan detonator. Pembuatannya biasanya bahan *ammonium nitrat* dicampur dengan minyak bahan bakar *diesel*, dengan perbandingan tertentu, dan yang biasa disebut dengan *anfo*. Perbandingan yang biasa adalah 1 gallon (3,7854 liter) minyak bahan bakar *diesel*, dicampur dengan 100 lb (453,59237 gram) *ammonium nitrate*. Campuran ini dapat dimasukan ke dalam lubang vertikal, atau jika posisi lubang horisontal, maka cara memasukannya dengan selang plastik/*flexible hose* dan ditekan sedikit dengan tekanan *compressor* pada tekanan kira-kira 10 psi. Untuk tanah yang mengandung banyak air tanah, bahan ini perlu dilindungi dengan kantong plastik, agar bahan anfo tidak bercampur dengan air. Untuk meledakan bahan peledak ini perlu adanya detonator yang diletakan di bawah, kadang-kadang juga diletakan di antara kedalaman tersebut.

4.7.2 Stemming

Setelah bahan peledak dan detonator selesai diletakan di bawah lubang, sisa lubang di atas ditutup kembali, yang disebut sebagai *stemming*. Bahan untuk *stemming* ini dapat dari material batuan bekas bor. Guna dari *stemming* ini adalah untuk memperbesar pengaruh dari peledakan. Kadang-kadang diperlukan juga pengisian bahan peledak dengan pengisian *stemming* secara selang seling. Dengan demikian setiap isian bahan peledak masing-masing perlu detonator sendiri (Gambar 4.24).



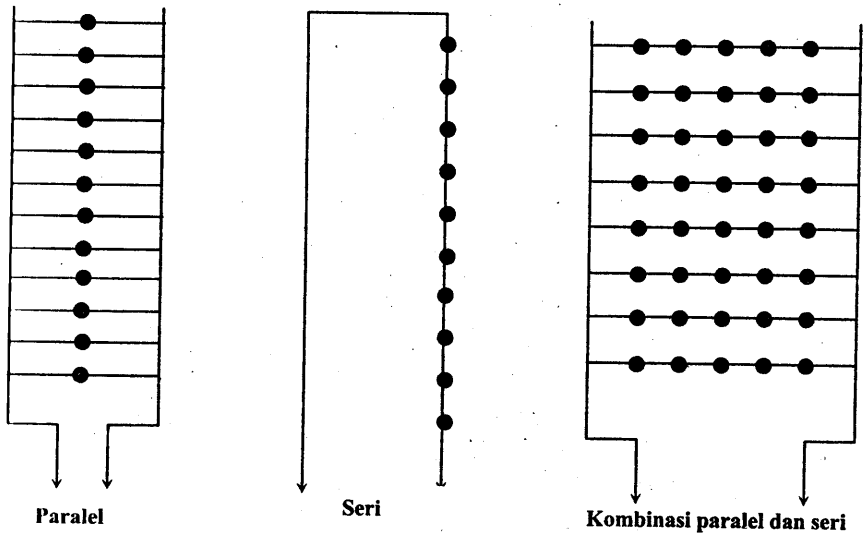
Gambar 4.24 *Cara pengisian bahan peledak, detonator dan stemming*

Pengisan bahan peledak ini lebih baik diletakan di bawah, dari pada dekat dengan permukaan tanah, agar mendapatkan hasil fragmentasi dari pecahan-pecahan tanah batuan tersebut lebih kecil, sehingga mudah untuk dipindahkan/diangkut/didorong dengan mesin. Atau dapat juga dengan meletakkan bahan peledak yang lebih besar di bawah, sedangkan makin ke atas semakin kecil kekuatan bahan peledaknya, dengan di antaranya diberi *stemming*, seperti Gambar 4.24 sebelah kanan.

4.7.3 Detonator

Detonator merupakan tabung silinder kecil dari metal yang berisi bahan peledak yang sangat sensitif terhadap ledakan. Detonator ini diletuskan dengan cara dialiri listrik yang dialirkan melalui penghantar di dalam detonator tersebut. Untuk keperluan metode

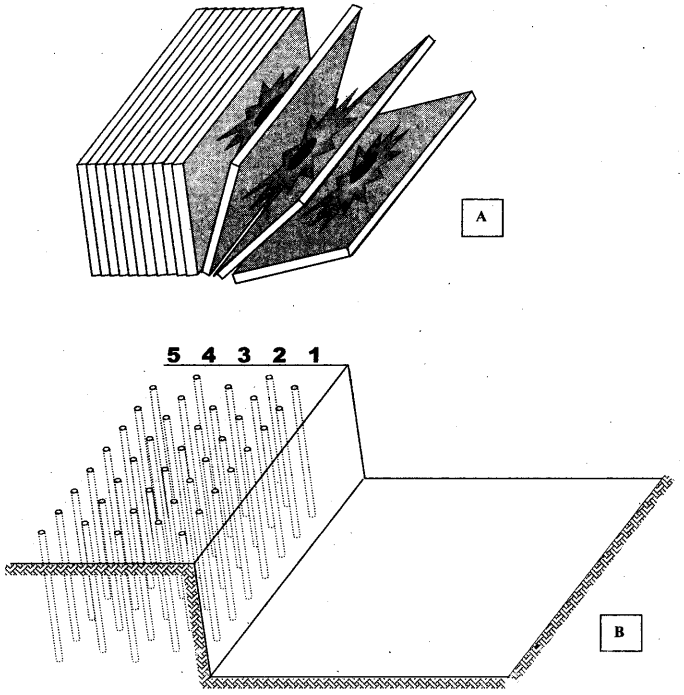
kerja tertentu ada jenis detonator yang dibuat dapat menunda peledakan dalam beberapa detik, setelah aliran listrik melaluinya, sehingga ada bagian yang harus hancur terlebih dahulu dalam beberapa detik dibandingkan dengan bagian yang lain. Tetapi ada juga detonator yang dibuat dapat menunda peledakan sangat singkat sekali, hanya dalam sepersekian detik saja. Jadi nama detonator tersebut adalah, *electric blasting cap, delay electric blasting cap* dan *millisecond delay electric blasting cap*. Aliran listrik yang melalui detonator lebih kurang 1,5 ampere, yang akan meletupkan detonator, dan dengan meletupnya detonator akan mengakibatkan meledaknya bahan peledak *anfo*. Ada beberapa cara pemasangan penghantar aliran listrik, yaitu dengan paralel, seri, dan kombinasi paralel dan seri (Gambar 4.25).



Gambar 4.25. *Sistem arus listrik untuk peletupan detonator*

4.7.4 Penggunaan Bahan Peledak untuk Pelaksanaan Pemotongan Tanah Keras/berbatu

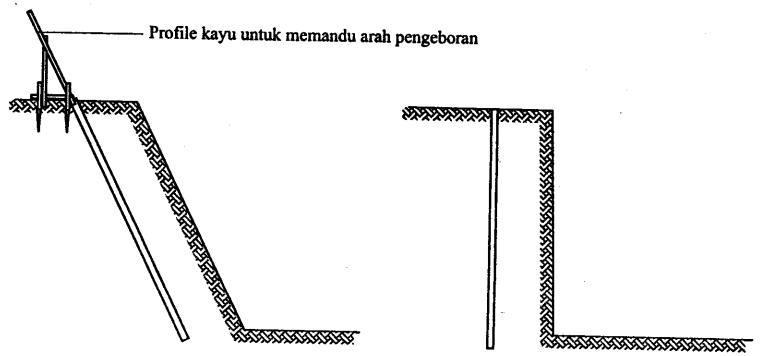
Untuk pemotongan tanah keras/berbatu/cadas keras/*tuff*, maka perlu diusahakan agar lapis per lapis yang sejajar dengan permukaan yang akan dipotong (jajaran) terhancurkan dengan ledakan. Untuk itu diusahakan agar jajaran lubang-lubang yang sejajar dengan permukaan yang akan dipotong mempunyai waktu peledakan yang sama, sedangkan jajaran lubang-lubang peledakan di belakangnya mempunyai waktu peledakan lebih lambat, demikian seterusnya pada jajaran lubang-lubang di belakangnya lagi, mempunyai waktu peledakan lebih lambat dari jajaran di depannya (lihat Gambar 4.26).



Gambar 4.26 *A. Sketsa urutan peledakan. B. Cara pengeboran. Urutan peledakan adalah 1,2,3,4;5*

Dengan demikian kehancuran tanah dapat terjadi lapis per lapis seperti digambarkan dalam gambar 4.26 (A) di atas. Jadi detonator atau *delay blasting cap* digunakan dalam urutan peledakan seperti ini. Detonator semacam ini mempunyai interval penundaan peletusan bervariasi dari mulai sepersekian detik sampai 10 detik dan bahkan lebih. Untuk interval penundaan peledakan yang sangat singkat disebut sebagai MS-25, MS-50, MS-200 dan sebagainya, yang dimaksud adalah angka tersebut menyatakan penundaan peletusan dalam per seribu detik, $\frac{25}{1000}$ detik, $\frac{50}{1000}$ detik, $\frac{200}{1000}$ detik, dan seterusnya.

Dari beberapa pengalaman menyatakan bahwa lubang peledakan dengan posisi miring 10° - 40° lebih efisien dari pada dengan posisi yang tegak. Dengan posisi lubang peledakan yang miring, pengalaman penulis di proyek Dam Sampean Baru, Jawa Timur, fragmentasi hasil pecahannya cadas keras/*tuff* lebih kecil, sehingga mudah untuk pengangkutannya dengan mesin. Perlu diingatkan di sini bahwa pengeboran tetap harus menggunakan profil-profil agar pemotongan tanah sesuai dengan gambar rencana (Gambar 4.27).



Gambar 4.27 *Dua cara metode pengeboran, miring 10° - 40°, dan vertikal*

Sebagai panduan untuk menentukan jarak lubang peledakan, digunakan rumus yang dikembangkan dari rumus Monsanto

Chemical Company, dengan menggunakan bahan peledak *ammonium nitrate* dan bahan bakar minyak *diesel*, sebagai berikut,

$$R = 0{,}02\sqrt{\frac{P}{S}}$$

R = radius tanah batuan yang rusak karena peledakan, M

P = tekanan peledakan maksimum, KG/CM²

S = tegangan tarik *ultimit* dari batuan, KG/CM²

Dari hasil pengalaman penulis, walaupun dengan rumus tersebut dapat dipakai, tetapi masih perlu ada percobaan di lapangan, karena jenis batuan sangat bervariasi dan selain itu juga sangat heterogen. Dari hasil percobaan di lapangan itu akan dapat menentukan jarak lubang pengeboran untuk jenis tanah tersebut.

Tabel 4.10 adalah jarak pengeboran dari beberapa jenis tanah, yang mungkin dapat menjadi pertimbangan pembaca dalam memperkirakan jarak lubang peledakannya.

Tabel 4.10 *Jarak lubang pengeboran dari beberapa jenis tanah keras*

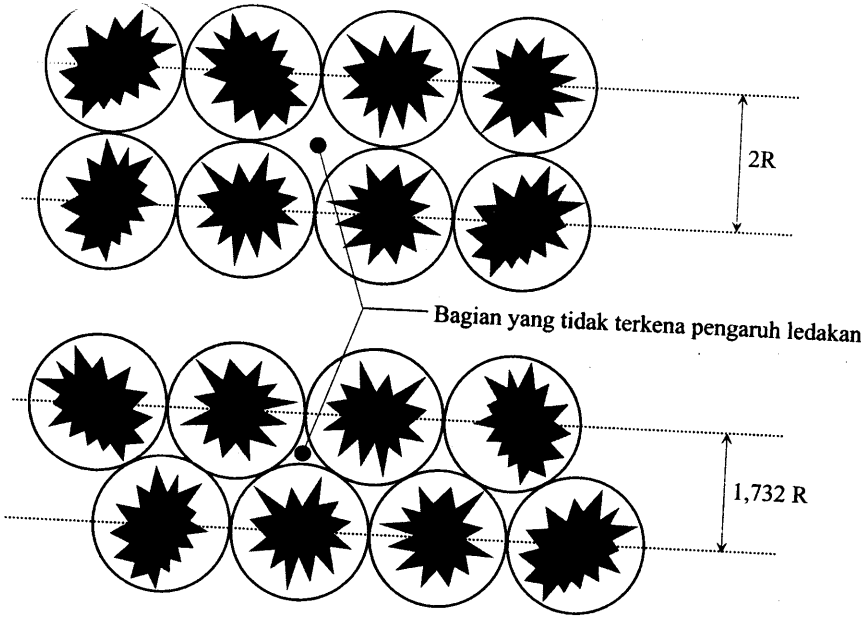
Jenis Tanah Batuan	Tegangan Tarik Batu,KG/CM²	Jarak Lubang, M tiap inci dari diameter lubang
Anhydrite, strong	84,372	0,600
Anhydrite, weak	56,248	0,747
Granite, strong	91,262	0,585
Granite, average	62,435	0,707
Granite, weak	29,671	1,027
Graywacke	49,217	0,799
Greenstone	26,718	1,082
Limestone, strong	62,575	0,701
Limestone, average	33,749	0,960
Limestone, weak	19,687	1,256
Marble	60,467	0,722
Marlstone	33,749	0,960
Salt (potash-halite)	28,124	1,055
Sandstone, strong	40,991	0,869
Sandstone, average	28,968	1,036
Sandstone, weak	19,687	1,256

Sumber dari Construction Planning, Equipment, And Methods, R.L. Peurifoy

Tabel 4.11 *Penjelasan istilah batuan dari tabel 4.10*

Jenis Tanah Batuan	Penjelasan
Anhydrite, strong *Anhydrite, weak*	- Unsur CaSo4, berubah menjadi *gypsum* dengan penyerapan air, kuat dan lunak
Granite, strong *Granite, average* *Granite, weak*	- Batuan dari magma keras warna abu-abu, komposisi terutama dari *feldspar, quartz, mica* dan lain-lain, kuat, rata-rata, dan lunak.
Graywacke	- *Nonporous*, batu pasir warna gelap bercampur partikel-partikel bentuk bersudut dari batuan lain
Greenstone	- Semacam batu magma berwarna kehijauan gelap
Limestone, strong *Limestone, average* *Limestone, weak*	- Sedimentasi dari batuan terutama terdiri dari *calcium carbonate*, kuat, rata-rata, dan lunak.
Marble	- *Limestone* yang terkristalisasi dengan tekanan dan suhu tinggi
Marlstone	- Batu campuran dari lempung, pasir, dan *limestone* dengan proporsi yang bervariasi.
Salt (potash-halite)	
Sandstone, strong *Sandstone, average* *Sandstone, weak*	- sedimentasi terdiri dari butiran pasir, kuarsa, dengan bahan pengikatnya lime, silika dan lain-lain, kuat, rata-rata, dan lunak

Jika dianggap retak-retak karena pengaruh ledakan merupakan lingkaran dengan titik pusatnya adalah pada lubang pengeboran tersebut, dan jari-jarinya R adalah separuh jarak antara masing-masing lubang pengeboran pada jajaran yang bersangkutan, maka cara penempatan yang baik adalah dengan cara setiap jajaran berikutnya posisi titik pusatnya menggeser sebesar R (Gambar 4.28). Dengan demikian jarak jajaran yang satu dengan jajaran berikutnya adalah 1,732 R, sehingga bagian yang tidak terkena pengaruh getaran akan lebih kecil.



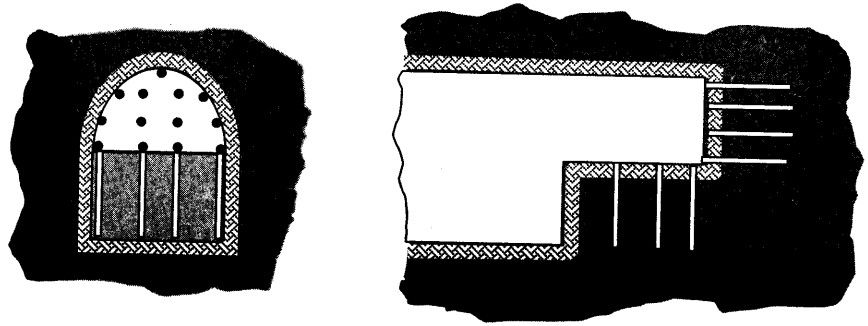
Gambar 4.28 *Penempatan lubang-lubang peledakan dalam satu jajaran*

Karena detonator ini dapat meletus dengan dialiri listrik, maka pekerjaan ini tidak boleh sewaktu mendung, karena dikhawatirkan ada petir yang aliran listriknya dapat menginduksi melalui kabel ke detonator sehingga dapat meledak sementara pekerja masih mempersiapkan pekerjaannya. Detonator dihubungkan dengan kabel listrik dan dialiri listrik dari pembangkit listrik engkol.

Untuk pembuatan *tunnel* atau terowongan jika tanah berbatu, dapat juga digunakan dengan cara peledakan. Ada beberapa cara untuk sistem peledakan, berdasarkan besar ukuran dari terowongan. Untuk terowongan yang kecil dengan ukuran kurang dari 3 M, dengan cara langsung dibor dan diledakkan, dengan peledakan dimulai dari tengah menuju ke pinggir.

Untuk terowongan yang besar perlu penanganan khusus, karena kondisi batuannya. Untuk batuan yang kuat sehingga langit-

langit cukup kuat dan tidak jatuh, dapat dilaksanakan bergantian, bagian atas satu kali ledakan kemudian bagian bawah. Bagian atas pengeboran dengan arah horisontal, sedangkan bagian bawah dengan arah vertikal ke bawah (gambar 4.29). Tetapi jika bagian langit-langit tidak kuat, maka bagian bawah dimanfaatkan terlebih dahulu untuk memasang support untuk penyangga langit-langit, dan bagian atas peledakan dapat jauh ke depan.

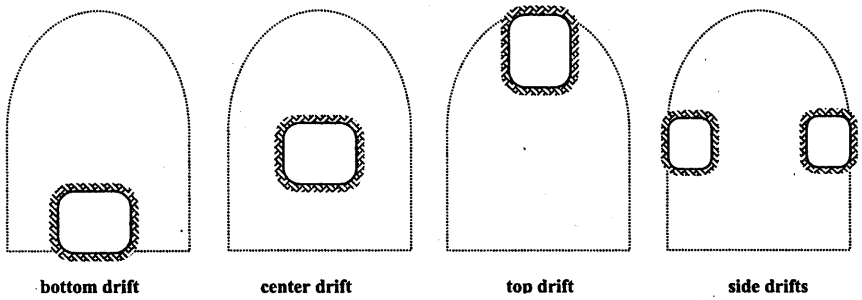


Gambar 4.29 *Metode peledakan pada pekerjaan pembuatan terowongan*

Untuk membuat terowongan yang sangat besar dilakukan dengan membuat terowongan kecil terlebih dahulu sebagai pemandu yang disebut *drift* (*drift method*) dan dibuat seluruh panjangnya atau sebagian panjangnya dari terowongan lihat Gambar 4.30. Dengan dibuat *drift* ini dapat terpantau terlebih dahulu kemungkinan adanya bagian-bagian yang menyulitkan dalam pelaksanaan pada seluruh panjang terowongan, misalnya kondisi batuannya, atau posisi dan besar air tanah yang akan dijumpai. Tetapi di lain pihak jadwal pelaksanaan lebih lama dan biaya juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan peledakan sekaligus pada seluruh permukaannya.

Untuk pengeboran pembuatan lubang peledakan di dalam terowongan tidak digunakan tekanan angin dari mesin kompresor, tetapi dengan menggunakan air, hal ini untuk mengurangi debu yang akan mengganggu para pekerja di dalam terowongan. Dalam

peledakan pembuatan terowongan ini, untuk awalnya juga perlu tes peledakan terlebih dahulu, untuk menentukan jarak lubang peledakan. Kedalaman dari satu kali peledakan berkisar antara 1,5 - 6 M. Dalam mengerjakan pengeboran lebih baik lebih diperdalam kira-kira 20% terhadap rencana kedalaman untuk satu kali peledakan.



Gambar 4.30 *Beberapa macam drifts*

4.7.5 Pekerjaan Galian di dalam Air dengan Cara Peledakan

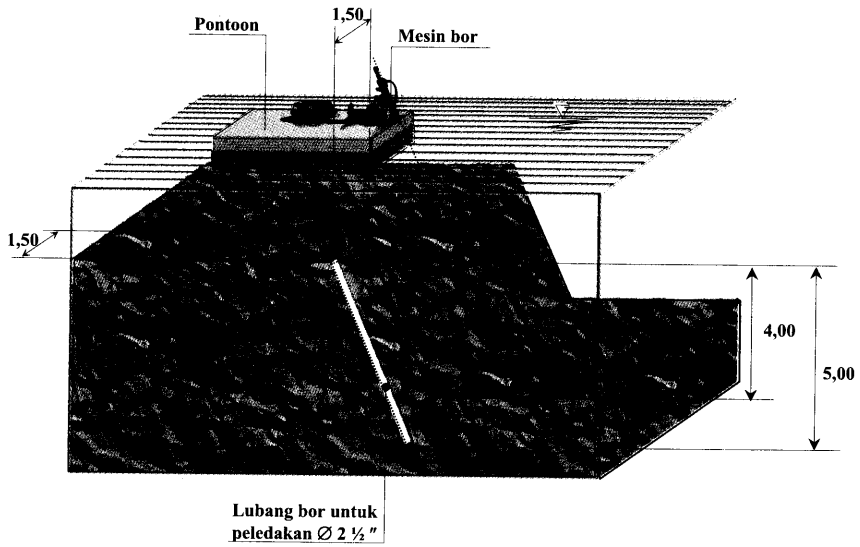
Kegiatan pekerjaan galian di dalam air dengan cara peledakan lebih cepat, dengan catatan tidak membahayakan untuk daerah sekelilingnya. Terutama jika ada struktur bangunan di dekatnya, hal ini adalah karena air sangat efektif merambatkan gelombang pukulan air tersebut. Termasuk dalam pekerjaan ini adalah pendalaman sungai dan kanal, memotong tiang pancang di dalam air, membongkar timbunan pasir dalam sungai, menghancurkan rongsokan di dalam laut. Penggunaan bahan peledak di dalam air perlu adanya ekstra kegiatan khusus karena penggunaan *electric detonator* (*submarine electric detonator/waterproof electric blasting cap*), kesulitan cara meletakkan bahan peledak, dan tingginya air yang mengakibatkan tekanan terhadap semua komponen untuk peledakan. Tetapi kesulitan yang dihadapi ini masih lebih hemat secara ekonomi dibandingkan dengan cara yang konvensional, terutama adalah pengaruh kecepatan pekerjaan.

Bahan peledak berupa *gelatine* harus tahan terhadap tekanan hidrostatik yang diterimanya. Bahan peledak ini dibuat khusus, dan jika dimasukan ke dalam air, maka air akan masuk/penetrasi secara perlahan-lahan sesuai dengan tekanan hidrostatik yang diterimanya. Dengan demikian diameter inti yang kering dari bahan peledak ini akan berkurang. Oleh karena itu diameter dari bahan peledak ini harus cukup besar sesuai waktu yang diperlukan dan tekanan yang diterimanya.

Detonator yang digunakan di dalam air dibuat khusus agar dapat menahan air dengan tekanan air yang tinggi. Detonator ini dipasang dengan kabel penghantar yang dibungkus dengan tembaga dan timah, kemudian dilapis dengan plastik yang kuat, dan telah diuji tahan terhadap tekanan air sampai 4 KG/CM^2 atau ekivalen dengan ketinggian air 42 M selama 16 jam. Tetapi dalam kenyataannya bisa sampai kedalaman air lebih dari lima kalinya.

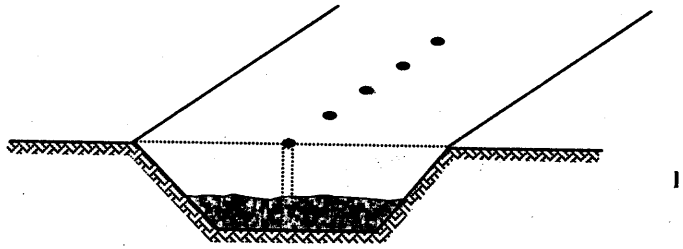
Untuk tujuan penggalian batu di dalam air perlu peralatan pengeboran khusus yang dimodifikasi dipasang pada rakit/*pontoon*. Dalam pelaksanaannya sama dengan peledakan pada daratan di atas air, yaitu dengan membuat bidang tampang agak tegak (Gambar 4.26), kemudian setelah itu dapat secara berturut-turut diledakan lapis demi lapis sejajar dengan bidang tampang tersebut. Energi ledakan perlu lebih besar dibanding dengan peledakan pada daratan di atas air, karena ada tekanan air yang menekan pada bidang tampang tadi, yaitu dengan memperkecil jarak pengeboran dan menambah berat bahan peledaknya. Lubang pengeboran sebaiknya jauh lebih dalam dari elevasi permukaan yang ditentukan, yaitu kira-kira jarak penambahan dalamnya sama dengan jarak antara lubang pengeborannya. Hal ini adalah untuk meyakinkan bahwa sampai dengan elevasi yang ditentukan sudah terledakan, untuk menghindari adanya peledakan yang kurang dalam dari elevasi yang ditentukan. Metode pengeboran dilakukan dengan melalui pipa-pipa yang sudah dimasukan ke dalam air dan sampai

terletak di lapisan batu di bawah. Pipa-pipa ini dapat disambung sampai di atas permukaan air, sekaligus nantinya agar dapat tepat pada posisi, untuk memasukan dan mendorong bahan peledak di lubangnya. Jumlah bahan peledak yang dipakai berkisar antara 1,5 sampai 2,5 KG untuk meledakan 1 M^3 batu di dalam air, tergantung dengan beberapa faktor, yaitu, tekanan hidrostatik air, kekerasan batuan, dan kedalaman kehancuran batuan yang dikehendaki. Sehingga jika diperlukan diadakan percobaan peledakan terlebih dahulu. Gambar 4.31 adalah sebuah contoh peledakan di dalam air, dengan tinggi lapaisan batu 4,00 M yang harus diledakan.

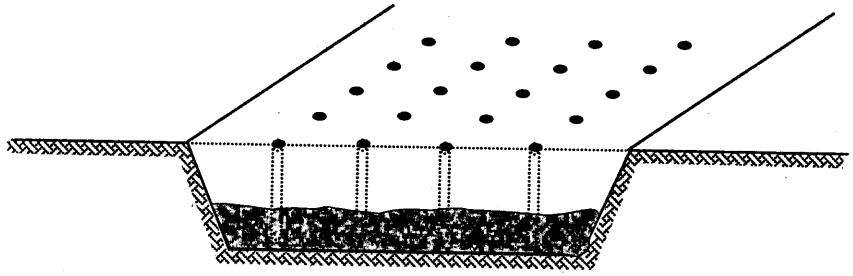


Gambar 4.31 *Sebuah contoh kasus peledakan di dalam air untuk memotong batuan setinggi 4,00 M. Lubang peledakan ∅ 2 ½ ", jarak lubang peledakan ke lubang peledakan berikutnya 1,50 M, jarak lubang peledakan ke permukaan batu yang sudah diledakkan 1,50 M, dan lubang peledakan dilebihkan menjadi 5 M untuk meyakinkan batuan yang hancur bisa sampai kedalaman 4,00M seperti yang dikehendaki. Mesin bor dimodifikasi di atas pontoon.*

Perlu diperhatikan juga fragmentasi dari hasil peledakan, karena akan mempengaruhi alat pengangkutannya, baik mengeluarkan pecahan batu dari dalam air maupun untuk mengangkut di daratan. Untuk itu jarak lubang peledakan perlu diperkecil agar hasil peledakan mempunyai fragmentasi yang kecil-kecil, sehingga bila digunakan kapal keruk (*dredger*) mudah pengangkutannya.



Gambar 4.32 *Metode kerja dengan satu jalur*



Gambar 4.33 *Metode kerja dengan beberapa jalur*

Cara peledakan di dalam air ini juga sangat efektif untuk beberapa kegiatan pekerjaan sipil lainnya, misalnya pembuatan kanal baru, menghancurkan timbunan *silt* dan *clay* pada dasar kanal yang lama, dan menghancurkan rongsokan-rongsokan di dalam laut. Untuk memperdalam kanal karena pendangkalan oleh *silt* dan *clay*, dapat dengan metode peledakan dengan cukup satu jalur pada sumbu kanal tersebut (Gambar 4.32). Tetapi untuk kanal yang lebar perlu beberapa jalur (Gambar 4.33). Kita perlu memanfaatkan

derasnya aliran air setelah peledakan, untuk membawa *silt* dan *clay* yang sudah berupa material longgar (*loose material*), yaitu dengan cara diadakan peledakan sewaktu air pasang maksimum. Atau dengan cara dibendung pada bagian udik (*up stream*), kemudian dilepas begitu selesai peledakan. Tetapi hal ini mungkin pada beberapa kasus sangat sulit untuk dilaksanakan.

Peledakan di dasar laut untuk rongsokan-rongsokan kapal perlu ijin dan penanganan khusus, karena bangunan-bangunan di sekitarnya, dan juga sehubungan dengan rusaknya lingkungan. Untuk itu perlu dengan cara lain. Dalam kasus pembangunan dermaga di kota Sorong, pada tahun 1975, banyak rongsokan *pontoon* dipindahkan dengan cara memompa air di dalam *pontoon*, setelah *pontoon* mengapung segera ditarik dengan kapal penarik ke tempat yang disetujui. Perlu lebih berhati-hati karena jika rongsokan *pontoon* tenggelam akan menarik tenggelam kapal penariknya.

Beberapa persyaratan sebelum peledakan dimulai, di antaranya adalah,

- Menyelesaikan ijin tertulis dengan pejabat atasan langsung, pejabat konsultan terkait, *safety engineer* dan lain-lain.
- Pengumuman bagi masyarakat sekeliling beberapa minggu sebelumnya, dengan melalui ijin pejabat terkait di daerah tersebut, yaitu RT, RW, Lurah, Kepala Desa, pemuka masyarakat, Camat, Kapolsek, dan pejabat terkait yang lain-lain.
- Menjelang diadakan peledakan, kepala bagian peledakan melihat sekeliling secara visual, jika ada orang di sekitar daerah yang akan diledakan harus diperingatkan untuk keluar dari area peledakan, jarak minimum keberadaan orang tergantung besar kecilnya bahan peledak dan untuk amannya dapat sampai 200 M - 500 M.
- Daerah yang masih dianggap berbahaya harus diberi batas yang jelas agar orang selain petugas bagian peledakan tidak masuk ke daerah tersebut.

- Sebelum peledakan, kepala bagian peledakan harus mengadakan pemberitahuan dengan pengeras suara pada sekeliling daerah peledakan.
- Membunyikan sirene tanda bahaya
- Peledakan dapat dimulai

4.7.6 Mengatasi Kegagalan dalam Peledakan

Ada kemungkinan bahan peledak tidak berfungsi dengan baik sehingga tidak meledak. Tetapi bahan peledak dan detonator masih aktif dan tidak menutup kemungkinan masih dapat meledak. Dalam hal demikian, harus ada penanganannya sebelum tanah batuan tersebut diolah/diangkat dengan mesin, hal ini akan membahayakan para pekerja/operator. Penanganan yang paling baik adalah dengan usaha meledakannya kembali. Sebelum diadakan penelitian, kabel untuk meletupkan detonator harus dilepas dari pusat tenaga listriknya. Ada kemungkinan kabel yang keluar dari lubang peledakan masih utuh, kemudian dilepas dari sistem rangkaian kabel, dan dicoba untuk diledakkan kembali. Jika dapat meledak berarti sudah aman. Jika tidak harus diusahakan mengeluarkan *stemming* dengan menyemprot air atau dengan *compressor*. Jika fasilitas air dan *compressor* tidak ada, maka usahakan mengambil *stemming* dengan bahan kayu, jangan sekali-kali menggunakan bahan besi. Setelah *stemming* dikeluarkan semua, dipasang detonator baru pada bahan peledak, dan diledakan ulang.

4.7.7 Manajemen Penyimpanan dan Transportasi dari Bahan Peledak

Jika pada suatu kegiatan pekerjaan harus ada penggalian tanah keras yang perlu menggunakan sistem peledakan, maka sejak awal pekerjaan harus sudah di manajemeni masalah ini. Pengurusan semacam ini memerlukan waktu yang lama, karena pada proses peledakan harus ada campur tangan dari pihak keamanan atau polisi, dan ada keterkaitannya pula dengan pihak lain yaitu ma-

syarakat, pengaruh sosial dan lingkungan. Dari pihak kontraktor yang bertanggung jawab terhadap pelaksanaan kegiatan itu, perlu melakukan *outsourcing* semua kegiatan yang ada kaitannya dengan peledakan ini, hal ini untuk menghemat biaya dan waktu. Dengan ditanganinya masalah ini oleh institusi yang sudah berpengalaman maka semua kegiatan akan lebih cepat dan tepat.

Gudang untuk bahan peledak ini harus sesuai persyaratan, bukan hanya karena barang ini tidak diperkenankan orang umum yang tidak berwenang ikut menanganinya dan juga bukan karena barang ini adalah barang yang berbahaya, tetapi juga karena barang ini harus selalu dalam kondisi yang baik. Untuk itu bagi perusahaan yang akan menggunakan bahan peledak harus mendapat ijin dari pihak yang berwenang memberi ijin. Semua bahan peledak dan komponen-komponennya merupakan barang yang mudah rusak karena tersimpan lama, terutama jika terkena panas yang tinggi dan kelembaban udara yang tinggi. Penggunaan bahan-bahan peledak ini harus sesuai urutan tanggal pembuatan pabriknya, hal ini untuk menghindari tersimpannya terlalu lama di dalam gudang, dan juga agar dalam penggunaannya di lapangan selalu dalam kondisi yang baik.

Beberapa anjuran untuk penyimpanan bahan peledak,

1. Gudang harus terisolir dari perumahan atau keramaian orang. Besarnya jarak aman dari perumahan agar minta penjelasan kepada yang berwajib/polisi, karena kadang-kadang tidak hanya tertuju pada perumahan saja, tetapi karena ada faktor-faktor lain yang orang awam tidak perlu tahu.
2. Bangunan harus dari bata merah atau bataco atau beton, bagian interior dilapisi dengan kayu, dan tidak ada besi yang menonjol pada bagian dalam gudang. Karena besi jika terkena pukul atau goresan akan mengeluarkan api.
3. Pintu harus kuat dan diberi kunci yang kuat. Pemegang kunci hanya orang tertentu yang sudah diberi wewenang.

4. Bangunan gudang harus diberi sistem penangkal petir sesuai SNI atau peraturan yang berlaku. Sistem penangkal petir harus sempurna agar tidak terjadi *flashover*, yang akan mengakibatkan meledaknya bahan peledak di dalam gudang.
5. Penyimpanan detonator tidak boleh dalam satu gudang dengan bahan peledak lainnya.
6. Gudang bahan peledak tidak boleh untuk penyimpanan bahan lain selain bahan peledak.
7. Membongkar bahan peledak dari tempat aslinya/*cartridge*, tidak boleh dilaksanakan dalam gudang bahan peledak. Untuk maksud tersebut harus ada bangunan workshop tersendiri jauh dari gudang bahan peledak.
8. Gudang bahan peledak sedapat mungkin dibangun pada daerah yang tidak lembab.
9. Demikian juga cara penyimpanan bahan peledak harus dengan rak kayu, sehingga tidak langsung di atas lantai yang kemungkinan lembab.
10. Semua tindakan untuk mencegah atau menghindari terjadinya atau timbulnya api di dalam gudang bahan peledak harus betul-betul dilaksanakan, misalnya memasang tanda DILARANG MEROKOK/*NO SMOKING ALLOWED*, petugas dilarang membawa korek api, petugas harus memakai *overshoes* (sepatu boot dari karet), petugas dilarang memukul benda besi.
11. Semua pintu gudang bahan peledak harus membuka keluar.
12. Sekeliling bangunan gudang bahan peledak harus bebas dari bahan yang mudah terbakar. Semua tumbuh-tumbuhan sekeliling gudang harus dipotong.
13. Ventilasi gudang bahan peledak harus baik. Rak-rak kayu tempat meletakan bahan peledak diatur sedemikian rupa sehingga udara dapat mengalir dengan baik. Rak kayu tidak boleh menempel dengan dinding gudang.
14. Gudang bahan peledak harus terawat dengan baik.

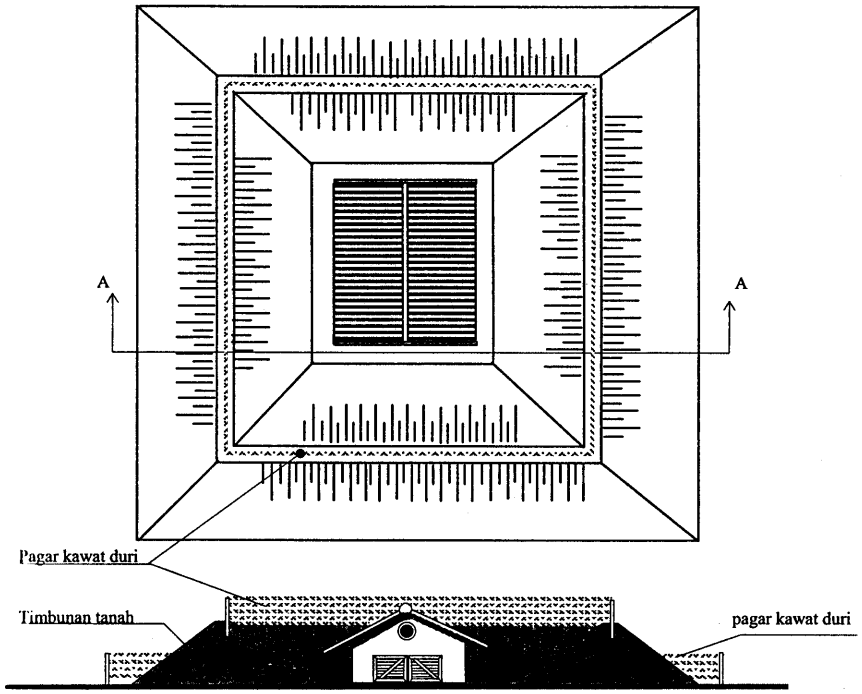
15. Administrasi gudang bahan peledak harus rapi, barang masuk dan keluar harus diberi tanggal. Hal ini untuk mencegah tertumpuknya bahan peledak terlalu lama, sehingga bahan peledak tidak berfungsi dengan baik.
16. Pagar dibuat cukup jauh dari pinggir gudang untuk menghindari jangkauan orang yang tidak berwenang (Gambar 4.34)

Untuk transportasi bahan peledak ini perlu ada beberapa anjuran di antaranya,

- Kendaraan yang membawa bahan peledak perlu diberi tanda-tanda khusus berupa gambar lambang bahaya, dan dikawal oleh yang berwajib.
- Transportasi untuk kendaraan yang membawa bahan peledak, harus lain kendaraan dengan kendaran yang membawa detonator.
- Kendaraan harus lengkap membawa alat pemadam api, sopir dan pembantu tidak diperkenankan merokok selama perjalanan pengangkutan bahan peledak.
- Tidak ada orang lain dalam mobil kecuali yang berwenang dan petugas.
- Untuk memuat dan menurunkan tidak boleh dijatuhkan

Bahan peledak adalah merupakan salah satu alat dalam proyek pembangunan, di mana peralatan berat lain sudah tidak mampu mengatasinya, terutama untuk penggalian tanah keras ataupun tanah berbatu. Bahan peledak ataupun alat-alat berat lainnya adalah untuk penggunaan pelaksanaan pekerjaan dengan volume yang besar, agar mendapatkan harga per unit volume dapat lebih murah. Masalahnya adalah bahan peledak merupakan bahan yang terlarang, sehingga penanganannya mulai dari pengurusan, pengangkutan, penyimpanan, dan pelaksanaan peledakannya harus ditangani oleh pihak yang berwenang. Pelaksanaannya harus diserahkan kepada institusi yang mempunyai ijin khusus pada pekerjaan tersebut.

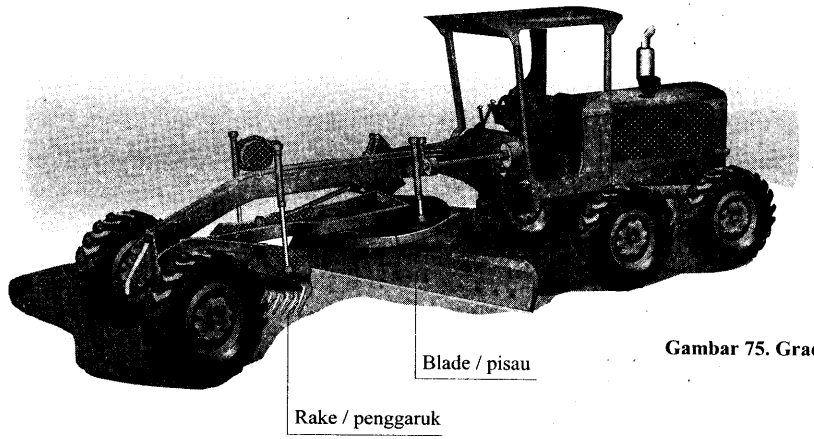
Dalam menangani pelaksanaan proyek yang terpaksa harus menggunakan bahan peledak, perlu memperhatikan perencanaan jadwal khusus pekerjaan peledakan ini, terutama untuk pekerjaan persiapannya, yaitu berupa pengurusan ijin, sosialisasi kepada masyarakat sekeliling, pengamanan, dan pelaksanaannya. Disarankan agar pengurusan ijin ini direncanakan waktunya yang aman, karena pekerjan non teknis seperti ini sukar untuk diprediksi durasinya.



Gambar 4.34. *Gambar gudang bahan peledak pada proyek Dam Sampean Baru, Jawa Timur*

4.8 Penggalian Tanah untuk Permukaan *Subgrade*

Penggalian tanah pada awalnya jika masih merupakan tanah galian dengan volume yang banyak, metode pelaksanaannya sama dengan pembahasan di depan. Jadi di sini yang akan kita bahas adalah pemotongan tanah yang sudah mendekati permukaan subgrade. Ada dua tahap cara pemotongannya, yaitu kondisi tanah masih ± 50 CM - 100 CM di atas subgrade (misalnya setelah selesai pemotongan dengan cara diledakan), dan kondisi tanah tinggal beberapa CM di atas permukaan subgrade (misalnya setelah selesai pemotongan dengan buldoser). Pada tahap pertama maka pemotongan dilaksanakan dengan buldoser, karena sifat ketelitiannya masih sangat kasar. Buldoser sangat kuat untuk memotong dan sekaligus mendorong yang kemudian dijadikan gundukan tanah. Gundukan tanah ini diangkat ke dalam bak *dumptruck* dengan menggunakan *excavator* atau *loader*. Buldoser untuk mendorong tanah jika terlalu jauh tidak efisien, tergantung dari tipe dan jenis buldoser. Untuk buldoser buatan Jepang misalnya tipe D-85 dapat efisien mendorong sampai sekitar 40 - 50 M selebihnya akan menjadi tidak efisien lagi. Jadi jarak pemotongan tanah ini untuk jalan (subgrade) setiap ± 100 M dibuat gundukan dan setiap gundukan mempunyai kombinasi jumlah tertentu dari *excavators* atau *wheel loader/track loader* dan sejumlah tertentu dari *dump trucks*. Karena pemotongan dengan buldoser sifatnya masih kasar maka patok-patok penunjuk cukup di pinggir kanan kiri jalan dengan cat kuning agar terlihat jelas oleh operator buldoser. Tetapi tetap harus selalu diikuti oleh pelaksana/*foreman*. Pada tahap berikutnya adalah pemotongan yang lebih halus mendekati elevasi yang sebenarnya. Di sini pemotongan dengan menggunakan *graders* (Gambar 4.35).



Gambar 75. Grader

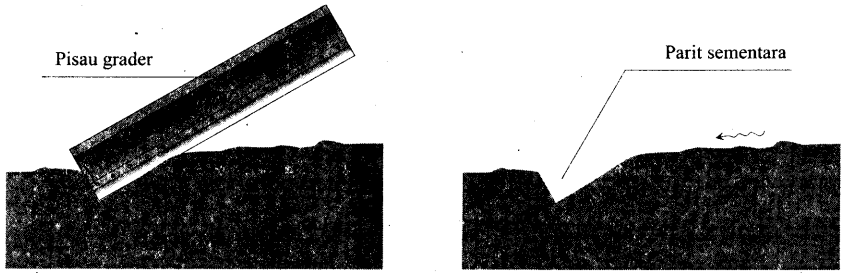
Gambar 4.35 *Grader*

Pisau *grader* dapat diputar dalam arah horisontal dan juga dapat sedikit diputar arah vertikal besarnya tergantung dengan tipe dan jenis dari *grader* tersebut. Dengan menggunakan roda pompa (*pneumatic tyre*) maka *grader* dapat beroperasi lebih lincah dan cepat. Patok-patok pemandu operator selain dipasang dipinggir-pinggir jalan juga kadang-kadang pada badan jalan dibuat lubang-lubang oleh juru ukur dengan dasar lubang adalah elevasi yang sebenarnya, kemudian lubang-lubang tersebut diisi dengan kapur, sehingga operator sewaktu memotong tanah dapat mengetahui tepat elevasi yang sebenarnya jika kapur sudah hilang dari pemotongan tersebut. Kemiringan-kemiringan pada badan jalan dapat dibuat oleh *grader* dengan lebih teliti. Operator yang sudah terbiasa dapat memotong tanah hanya beberapa cm dan meratakannya, hanya dengan bantuan patok-patok yang dicat kuning pada batas kanan dan kiri badan jalan.

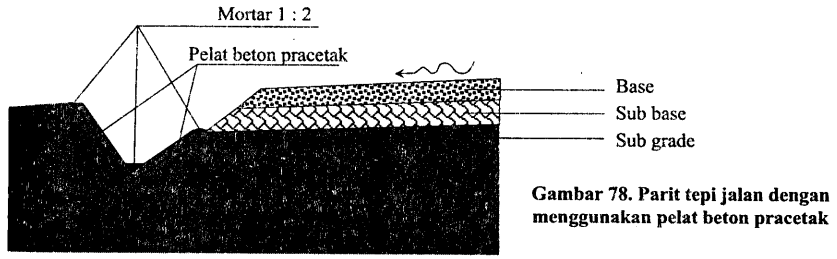
Untuk pekerjaan jalan sebaiknya kanan dan kiri badan jalan dibuat parit sementara, yang mana pekerjaan ini dapat dibuat dengan menggunakan pisau *grader* diputar vertikal (Gambar 4.37). Pada beberapa kasus dan jika memungkinkan dapat juga tidak un-

tuk parit sementara, tetapi merupakan galian tanah untuk struktur parit jalan dengan diberikan plat beton pracetak (Gambar 4.38). Sudah barang tentu permukaannnya harus dipadatkan terlebih dahulu. Pekerjaan parit jalan semacam ini sangat cepat, karena galian parit menggunakan mesin, dan pembuatan penutup betonnya dikerjakan secara simultan dengan pekerjaan galian. Perlu diingat bahwa untuk pemotongan subgrade, permukaan tanah akan turun sedikit sewaktu dipadatkan dengan alat pemadat. Tetapi untuk sub base maupun base dengan material tertentu turunnya sangat sedikit setelah pemadatan.

Gambar 4.36 *Patok untuk memberikan perkiraan elevasi tanah yang harus dipotong, dengan batas cat warna 10 cm di atas elevasi yang ditentukan*



Gambar 4.37 *Membuat parit sementara, dengan pisau grader diputar vertikal. Dengan adanya parit sementara air hujan tidak menggenang di atas daerah subgrade badan jalan, sehingga menghindari bertambahnya water content dari subgrade.*



Gambar 78. Parit tepi jalan dengan menggunakan pelat beton pracetak

Gambar 4.38 *Parit tepi jalan dengan menggunakan plat beton pracetak*

4.9 Penggalian Tanah yang Berlumpur

Penggalian pada tanah berlumpur tetapi dalam kondisi masih dapat dilalui dengan *swamp doser*, maka penggalian atau pemotongan tanah dapat menggunakan *swamp doser* tersebut. *Swamp doser* sama fungsinya dengan buldoser, hanya roda rantainya lebih lebar, sehingga tekanan *track* terhadap permukaan tanah yang diinjaknya menjadi kecil, karena *track* sangat luas. Tanah berlumpur di sini biasanya bagian dasarnya berupa tanah cukup padat yang dapat dilalui oleh buldoser biasa atau *track loaders*. Setelah menjadi gundukan lumpur pengoperasiannya sama dengan cara pengoperasian pada tanah biasa. Perlu ditekankan di sini jalan sementara untuk pengangkutan tanah lumpur ini harus dibuat dengan struktur khusus, yaitu biasanya dengan menggunakan koral/kerikil dengan berbagai ukuran dan sebagai pengikatnya dengan menggunakan tanah, agar *dump trucks* tidak mengalami kesulitan perjalanannya. Mesin untuk memuat lebih baik dengan menggunakan *track loader*.

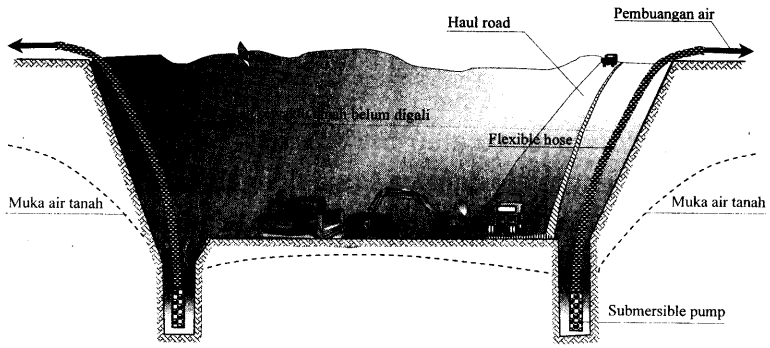
Dalam kasus yang luar biasa yaitu lumpur yang sangat encer dengan air maka dapat digunakan *submersible pump* khusus untuk lumpur. Pompa yang dicelupkan ke dalam cairan lumpur, biasanya dengan tenaga listrik, mempunyai *flexible hose* yang dapat menyalurkan cairan lumpur tersebut pada lokasi tertentu, yang sudah barang tentu pada daerah yang mudah untuk proses pembuangannya atau pada daerah yang bebas terhadap syarat tertentu

dari spesifikasi. Karena tanah lumpur ini saat kering akan menjadi tanah yang kuat jika dipadatkan dengan cara yang benar.

4.10 Penggalian Tanah di bawah Muka Air Tanah

Pada beberapa kasus pada bangunan kadang-kadang kita harus menggali pondasi sampai lebih dalam dari muka air tanah, misalnya saja penggalian untuk pondasi pada bangunan bendungan. Berarti kita akan menghadapi keluarnya air tanah yang kemudian akan bercampur dengan tanah.

Untuk penggalian tanah yang sederhana saja mungkin masih dapat di atasi dengan mengeluarkan air dengan menggunakan *submersible pump* (Gambar 4.39).

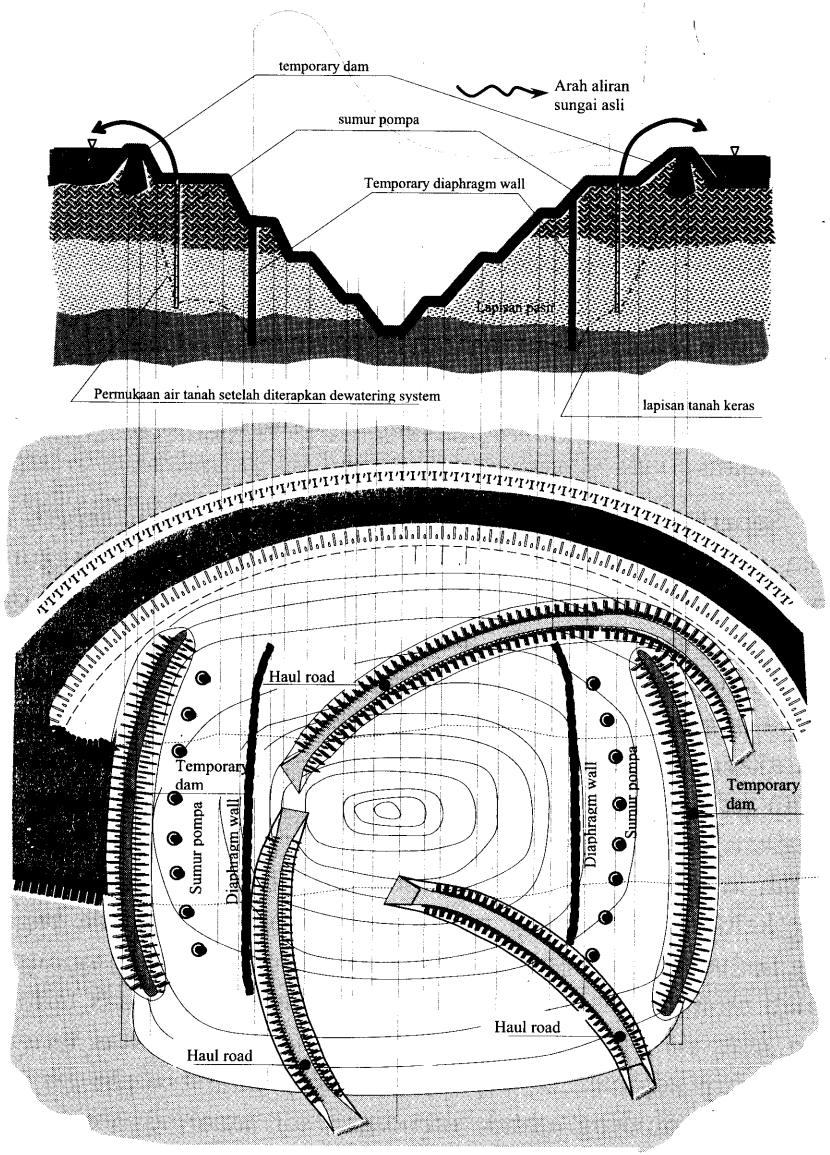


Gambar 4.39 *Sketsa metode penurunan muka air tanah pada lokasi penggalian tanah*

Pada sekeliling lokasi penggalian dibuat parit yang miring ke arah sumur di mana diletakan *submersible pump*. Air yang terkumpul di dalam sumur tersebut kemudian dipompa keluar. Sudah dengan sendirinya kapasitas pompa dan jumlah pompa harus disesuaikan dengan debit air tanah yang keluar dari seluruh daerah penggalian tersebut. Untuk penggalian yang sangat dalam, harus membuat *access road/haul road* yang selalu harus dirawat agar pengangkutan tanah galian tidak menyulitkan. Perlu diperhitungkan jika misalnya satu buah *dump truck cycle time* bertambah beberapa menit saja karena kerusakan *haul road*, maka dalam satu bulan penurunan *progress* prestasinya akan terlihat besar sekali.

Dalam kasus pembuatan dam atau bendungan, di mana volume penggalian tanahnya untuk pondasi sangat besar, dan kita menghadapi keluarnya air tanah yang masuk ke dalam lubang galian melalui lereng-lereng galian sangat besar, maka perlu ada penanganan khusus, yaitu dengan menggunakan *dewatering system*. Besarnya air tanah ini biasanya karena ada lapisan di bawah *river bed* berupa pasir sehingga sangat *poreus* sekali dan air mengalir dengan cepat.

Seperti dijelaskan di atas untuk mengatasi kasus seperti ini maka perlu menerapkan *dewatering system* dengan menggunakan *sump pump* ditambah dengan *temporary diaphragm wall*, dan sudah barang tentu perlu adanya *temporary dam* yang terbuat dari tanah (Gambar 4.40). *Sump pump* atau pompa sumur adalah pompa untuk mengeluarkan air dari kedalaman tanah sehingga permukaan air tanah dapat turun. Pompa yang dipergunakan adalah jenis *submersible pump* dengan kapasitas yang harus disesuaikan dengan debit air yang keluar dari sumur tersebut. Jumlah sumur-sumur juga disesuaikan dengan debit air tanah yang keluar. Tetapi yang perlu lebih rapat adalah pada bagian yang berhadapan dengan aliran sungai. Pompa di dalam sumur ini adalah otomatis, jika permukaan air turun sampai batas tertentu akan mati dan jika permukaan air naik sampai batas tertentu akan hidup kembali. Di depan *sump pump* dibuat *diaphragm wall*, merupakan dinding untuk mencegah air tanah dan sekaligus menurunkan air tanah. Dinding dari *diaphragm wall* ini agar murah tetapi masih kuat untuk menahan air sampai beberapa tahun dibuat dari bahan *bentonite cement*. Bahan ini kedap air tetapi sangat getas dan tegangan tekannya sangat rendah dibanding dengan semen.



Gambar 4.40 *Dewatering system dengan menggunakan diaphragm wall, sump pump dan temporary dam. Tampak juga lokasi jalur haul road.*

Cara penggalian untuk dinding di dalam tanah ini akan dibahas dalam bab berikutnya. Dengan demikian (lihat gambar 4.40) seluruh permukaan galian pondasi untuk bendung sudah bebas dari air tanah, sehingga alat-alat berat dapat bekerja, walaupun masih ada juga air yang keluar sedikit dari bawah dan dari lereng galian, tetapi masih dapat di atasi dengan pompa pada permukaan, atau dibuat *drainase*, parit-parit, sumuran dan *submersible pump*.

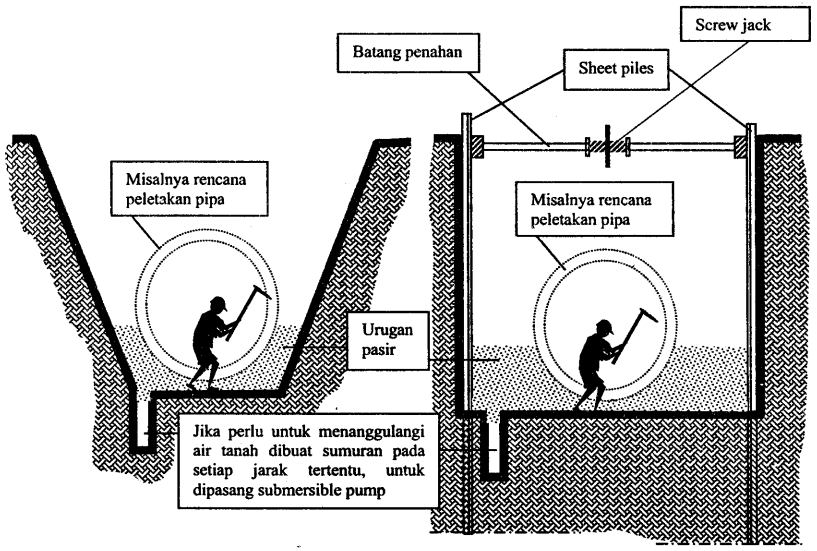
4.11 Penggalian Tanah yang Sempit dan Dalam

Penggalian tanah yang sempit dan dalam ada beberapa kemungkinan, yaitu penggalian sederhana sampai sedalam ± 5 – 8 M misalnya untuk pemasangan pipa beton yang besar untuk mengalirkan air dengan ∅ sampai 2,5 M; penggalian tanah yang sangat sempit sampai kedalaman ± 8 – 15 M, biasanya penggalian semacam ini untuk membuat dinding di bawah tanah atau misalnya pembuatan *diaphragm wall* yang akan dibahas di bawah; dan penggalian tanah untuk pondasi yaitu pondasi *strauss pile*, *franky pile*, *bored pile*, dan sejenisnya.

Untuk penggalian yang sederhana (gambar 4.41) pada daerah yang bebas dari perumahan keramaian dan kegiatan manusia tidak ada kesulitan kecuali harus diperhitungkan masalah longsornya tanah, yaitu dengan cara membuat kemiringan tanah yang aman. Longsor tanah ini tergantung dari jenis tanahnya atau tergantung dari sudut lereng alamnya. Tanah lumpur atau *clay* yang kering sekali sangat kokoh sehingga kemiringan galian dapat hampir tegak, tetapi jika *clay* basah kemiringan galian harus landai sekali. Pasir yang bersih mempunyai sudut lereng alamnya ± 45°. Kemiringan galian ini harus diperhatikan sekali karena kasus runtuhnya tanah galian sudah sering terjadi sehingga menimbulkan korban manusia dan atau para pekerja, jika kedalaman sampai 8 M. Alat berat untuk penggalian parit terbuka (*open trench*) dapat dilakukan dengan mesin *hoes*, seperti dalam Gambar 4.5 . Nama ini ada beberapa, yaitu *hoe*, *backhoe*, *back shovel*. Untuk penggalian pada

daerah yang banyak kegiatan manusia, perkampungan, jalanan umum dan rumah-rumah tepat di pinggir galian, kita tidak dapat mengamankan lereng galian dengan kemiringan sesuai lereng alamnya karena kanan kiri galian penuh kegiatan manusia, maka perlu penanganan khusus, yaitu dengan penggalian yang vertikal dan agar tidak longsor ditahan dengan *sheet piles* (Gambar 4.42). Pertama-tama *sheet piles* harus dipancang terlebih dahulu, sampai kedalaman yang cukup aman dan melebihi dasar galian, lebih besar dari dalam galiannya sendiri, biasanya *sheet piles* mempunyai panjang 8 M atau 12 M. Setelah selesai pemancangan *sheet piles* kemudian baru digali. Penggalian dengan menggunakan *excavator* atau *backhoe*, karena lebar galian sangat sempit (lihat Gambar 4.5). Jenis *excavator* ada yang sangat panjang lengannya (*long-arm-excavator*) sehingga dapat mencapai dasar galian yang dalam. Pemancangan *sheet piles* biasanya dengan *vibratory-pile-driver*, yaitu mesin alat pancang yang dicepitkan pada *sheet-piles* dan secara bergetar, juga karena beratnya akan menekan *sheet-piles* ke dalam tanah. Untuk daerah yang banyak perumahan dan sangat dekat dengan galian, akan mengganggu karena getarannya. Kadang-kadang dengan kondisi tanah yang tidak padat, *sheet-piles* dapat dimasukan ke dalam tanah dengan cara ditekan dengan *bucket* dari *excavator*, jika galiannya tidak terlalu dalam. Atau dapat juga dengan bertahap, *excavator* menggali sampai 1 M, baru kemudian dipancang dengan *sheet-piles*.

Jika dasar galian sangat dalam maka masuknya *sheet piles* tidak cukup dalam, maka perlu ada batang penahan yang bagian tengahnya diberi *screw jack* atau *kontra mur*, jika diputar akan menekan keluar, sehingga dapat memberikan gaya yang berlawanan dengan tekanan tanah aktif. Hal ini untuk menanggulangi bahaya longsornya tanah. Kadang-kadang di dalam galian sudah keluar air tanah yang cukup banyak, maka perlu dasar galian dibuat miring sedikit ke arah sumur pengumpul air untuk kemudian dikeluarkan airnya dengan *submersible pump*.

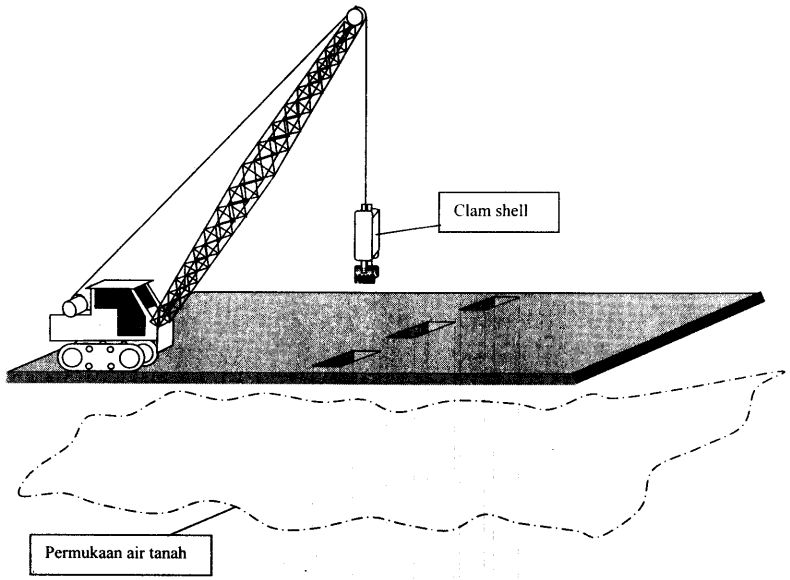


Gambar 4.41 *Contoh penggalian tanah misalnya untuk pemasangan pipa air minum dari beton Ø 2,5 M, pada tanah yang tidak ada gangguan kegiatan manusia/rumah/kendaraan dan lain-lain.*

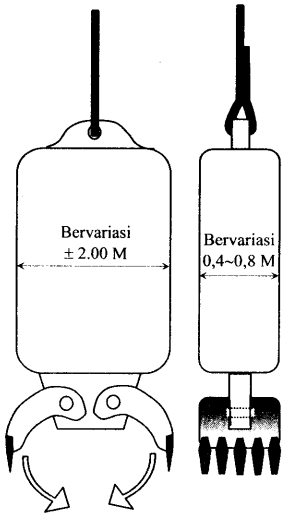
Gambar 4.42. *Contoh penggalian tanah pada daerah yang penuh dengan kegiatan manusia, rumah kanan kirinya, sehingga ada gaya tekanan tanah aktif. Untuk menanggulangi longsornya tanah digunakan sheet piles, atau penahan tanah papan dan balok kayu.*

Pada galian yang hanya sedalam 2 M saja tidak perlu dengan pemancangan *sheet piles* tersebut, tetapi cukup dengan penyangga papan dan balok dengan batang penahan.

Kasus lain adalah penggalian tanah yang sangat sempit dan sangat dalam yaitu penggalian untuk dinding di bawah tanah, misalnya untuk pembuatan *diaphragm walls*, atau pembuatan dinding beton di bawah tanah (lihat Gambar 4.43 dan 4.44).

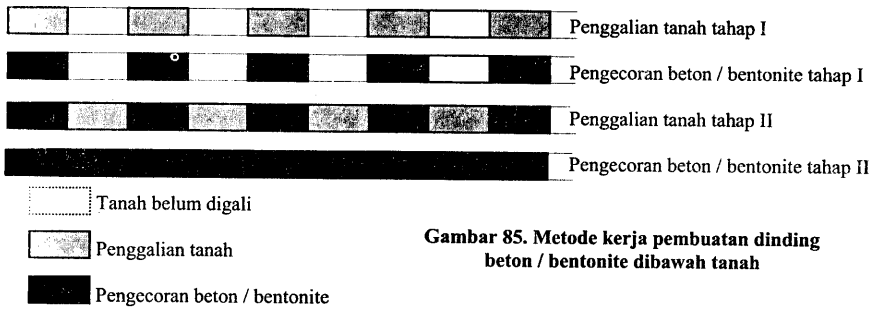


Gambar 4.43 *Penggalian untuk pembuatan dinding di bawah tanah*



Gambar 4.44 *Clam shell, alat penggalian untuk pembuatan dinding di bawah tanah, dengan bobot yang amat berat*

Dalam pembuatan dinding di bawah tanah, dapat berupa dinding beton atau dinding dengan bahan *bentonite*. Penggalian tanah untuk dinding ini dengan menggunakan *crane* dan *clam shell* yang besar, dengan tebal ± 0,80 M dan panjangnya ± 2,00 M, sehingga tanah akan digali berupa sumur segi empat sesuai bentuk penampang *clam shell* dengan ukuran ± 0,80 M x 2,00 M. Cara penggaliannya adalah dengan selang seling, di mana jarak daerah tanah yang ditinggal untuk galian pada tahap berikutnya adalah 2,00M (selebar *clam shell*) (Gambar 4.45). Galian-galian tahap pertama setelah dicor, baru kemudian *clam shell* menggali di antaranya untuk galian tahap kedua. Hal ini dilakukan untuk memudahkan metode kerja pengecorannya.



Gambar 4.45 *Metode kerja pembuatan dinding beton/bentonite di bawah tanah*

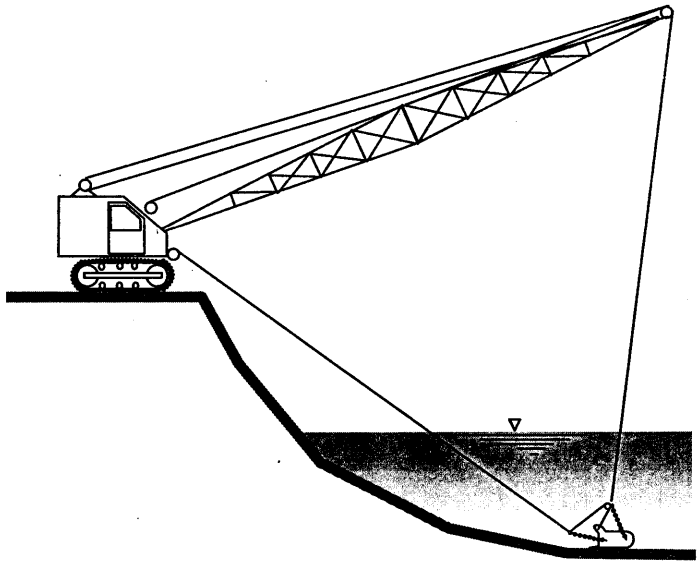
Untuk metode pelaksanaan pengecorannya seperti yang dibicarakan di atas akan dibahas dalam bab pengecoran beton.

4.12 Penggalian Tanah pada Area yang Sukar Untuk *Manoeuvre* Unit Alat Pengangkutan dan Pemuatan

Kasus ini ada beberapa macam yaitu,

penggalian tanah untuk sungai, kanal dan lain-lain
penggalian tanah yang berair/dasar sungai

pada daerah tersebut, biasanya di sekitar alat penggalian sangat sukar untuk *manoeuver* alat angkutan misalnya *dump truck* dan *wheel loader*. Alat untuk penggalian yang cocok adalah dengan *dragline* (Gambar 4.46)



Gambar 4.46 *Penggalian canal atau sungai dengan dragline*

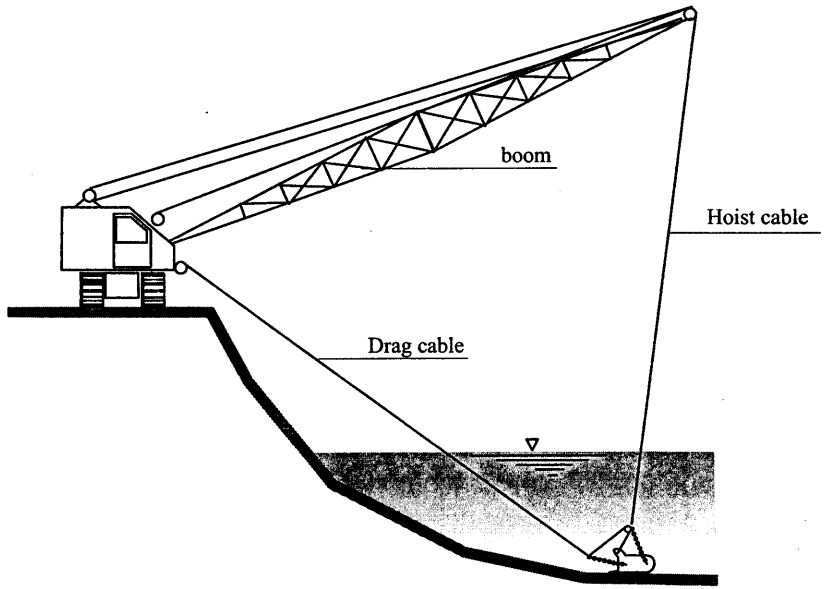
Pada penggalian dengan *dragline*, mesin tidak perlu mendekat ke tempat lokasi galiannya, tidak seperti *back hoe, loader* dan buldoser, hal ini adalah karena *bucket* dari *dragline* dapat dilempar sampai jauh. Demikian juga sewaktu akan mengambil material, misalnya tanah, pasir atau koral, *bucket* dari *dragline* ini dapat mengambil dari jarak yang jauh. Produksi per satuan waktu lebih kecil karena sistem operasinya agak sulit dan memerlukan keahlian dari operatornya. Pekerjaan dengan *dragline* menghasilkan output 75 - 80% dari pekerjaan dengan *shovel*.

Penggalian pada sungai dengan *dragline* sangat praktis, karena hasil galian dapat ditumpuk sepanjang pinggir sungai. Untuk

maksud ini posisi mesin dibuat seperti pada gambar 4.47, arah *track* sejajar dengan arah rencana perjalanan *dragline*, jadi *dragline* dapat sambil jalan terus sepanjang pinggir sungai. Dengan memanfaatkan *boom* yang sangat panjang, mesin *dragline* ini dapat untuk menggali tanah dan langsung dimuatkan ke unit alat angkut, misalnya *dump trucks*.

Ada beberapa tipe dari *dragline*,

1. *Crawler-mounted dragline*, dengan menggunakan *track* sehingga cocok untuk dasar tanah yang tidak rata, becek dan berlumpur.
2. *Wheel-mounted dragline*, dengan menggunakan roda ban, gerakannya lebih lincah dan cepat untuk dasar yang rata, dan jalan raya.
3. *Truck-mounted dragline*



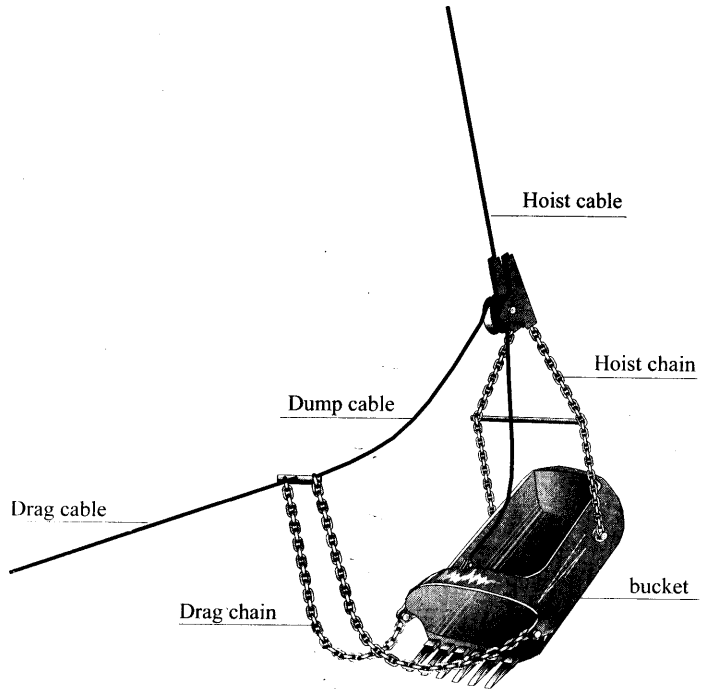
Gambar 4.47 *Penggalian canal atau sungai dengan dragline, arah track sesuai perjalanan dari dragline*

Crawler-mounted dragline dapat beroperasi dengan baik untuk tempat pekerjaan di mana permukaan dasarnya yang tidak rata dan tanah lunak. Tetapi mesin ini berjalan sangat lambat, dengan kecepatan kira-kira hanya 2 km/jam. Untuk mobilisasi pada proyek dengan perjalanan yang jauh, perlu alat bantu tranportasi, biasanya dengan menggunakan *flat-bed-trailer*, selain karena *track* dapat merusak aspal juga kecepatan bergeraknya yang sangat lambat. Dua tipe *dragline* yang lainnya, yaitu *wheel-mounted dragline* dan *truck-mounted dragline* dapat beroperasi hanya pada dasar tanah yang rata dan keras, dan dapat berjalan dengan kecepatan sampai 60 km/jam. Sehingga untuk mobilisasi pada proyek dengan perjalanan yang jauh dapat berjalan sendiri.

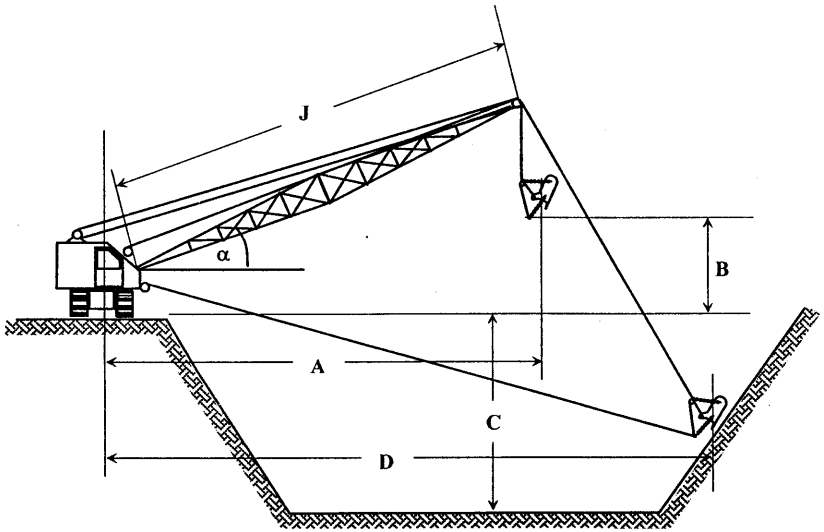
Ukuran kapasitas *dragline* ditunjukkan dari kapasitas *bucket*-nya dalam volume M^3. Maksimum kapasitas daya angkat *dragline* terbatas dengan momen yang akan menggulingkan *dragline*, sehingga semakin panjang *boom* harus dikurangi kapasitas dari *bucket*, untuk menghindari momen guling akibat gaya berat dari *bucket* dan isinya, yang lebih besar dari momen yang menahannya. Dalam kenyataannya perlu ada faktor keamanan guling, dengan menerapkan besarnya momen guling akibat gaya berat *bucket* ditambah berat isi *bucket* hanya boleh sampai 75% saja dari momen guling dari *dragline* yang menahannya. Memperpanjang *boom* dan mengurangi berat *bucket* dan isinya, hanya untuk keperluan agar dapat mencapai jarak jangkauan galian yang lebih jauh, atau radius *dumping*/ pembuangan yang lebih jauh, selain juga perlu dipertimbangkan terhadap momen guling seperti disebutkan di atas.

Cara kerja *dragline* agak lebih susah dibanding dengan cara kerja mesin *excavator*. Penggalian dengan menggunakan *dragline* dengan melempar *bucket*, dengan cara memutar *dragline*, sehingga dengan gaya sentrifugal *bucket* akan terlempar jauh pada posisi galian yang diinginkan, dan pada waktu yang bersamaan *drag cable* dan *hoist cable* diulur (lihat gambar 4.47 dan 4.48). Penggalian

dengan cara menarik *bucket* ke arah mesin, sedangkan mengatur kedalaman galian dengan mengatur tarikan dari *hoist cable*. Setelah *bucket* penuh, *bucket* ditarik ke atas dengan *hoist cable*, sementara *drag cable* tetap ditarik secukupnya agar muatan tidak tumpah. Mesin diputar dan muatan ditumpahkan pada posisi yang diinginkan dengan mengendorkan *drag cable*. Itu adalah satu putaran kerja. Kemudian putaran kerja berikutnya diulangi lagi, dan seterusnya. Dengan memanfaatkan kecepatan memutar mesin, maka dapat membuang muatan lebih jauh dari jarak horisontal *boom*. Kesulitan kita jumpai jika harus membongkar muatan ke dalam unit angkutan, karena selain *bucket* menggantung dan bergoyang, juga buangan banyak tercecer di luar bak dari unit angkutan. Untuk itu perlu unit angkutan besar dan lebar.



Gambar 4.48 *Sketsa bucket dari dragline dengan posisi dumping*



Gambar 4.49 *Penggalian canal atau sungai dengan dragline*

Cara kerja *dragline* juga mempunyai keterbatasan, sehingga untuk mendapatkan hasil galian yang maksimum perlu ada kedalaman galian yang optimum. Hal ini dapat ditunjukkan seperti dalam Tabel 4.12.

Hasil produksi dari *draglines* tergantung dari beberapa faktor, yaitu,

1. jenis material
2. dalamnya pemotongan tanah
3. sudut dari putaran mesin *dragline*
4. ukuran dan tipe dari *bucket*
5. panjang *boom*
6. kondisi lapangan
7. kondisi dari *management*
8. metode kerja pemuatan dalam bak truk, transportasi dan pembuangannya
9. kapasitas dari alat-alat pengangkutannya jika langsung dimuat ke atas bak unit angkutan

10. faktor operator (kemahiran dan karakter operator)
11. kondisi fisik dari alat/mesin.

Tabel 4.12 *Jangkauan Kerja Tipikal dari Dragline dengan Counterweights Maksimum*

J, panjang boom, 15,24 M						
Kapasitas kg*	5443	5443	5443	5443	5443	5443
α, sudut boom, derajat	20	25	30	35	40	45
A, radius buangan, M	17	15	15	14	14	12
B, tinggi buangan, M	3	4	5	6	7	8
C, dalam galian max, M	12	11	10	8	7	6
J, panjang boom, 18,28 M						
Kapasitas kg*	4762	4989	5352	5443	5443	5443
α, sudut boom, derajat	20	25	30	35	40	45
A, radius buangan, M	20	18	17	17	16	15
B, tinggi buangan, M	4	5	7	8	9	10
C, dalam galian max, M	12	11	10	8	7	6
J, panjang boom, 21,33 M						
Kapasitas kg*	3628	3855	4173	4536	4989	5352
α, sudut boom, derajat	20	25	30	35	40	45
A, radius buangan, M	23	22	21	20	18	17
B, tinggi buangan, M	5	7	8	10	11	13
C, dalam galian max, M	12	11	10	8	7	6
J, panjang boom, 24,38 M						
Kapasitas kg*	2721	3039	3265	3583	3900	4445
α, sudut boom, derajat	20	25	30	35	40	45
A, radius buangan, M	26	24	24	23	21	20
B, tinggi buangan, M	7	8	10	12	13	14
C, dalam galian max, M	12	11	10	8	7	6
D, jangkauan galian, M**	-	-	-	-	-	-

Tabel tersebut di atas adalah untuk *bucket* dengan ukuran 0,95 – I,91 M^3

* Jumlah berat material yang diangkut dan berat *bucket* sendiri tidak boleh melebihi kapasitas tersebut

** Tergantung kondisi di lapangan pekerjaan dan keahlian operator

Sumber dari buku *Construction Planning, Equipment, And Methods*, oleh R.L. Peurifoy.

Tabel 4.13 *Hasil galian yang ideal pada kedalaman yang optimum dengan ukuran bank (bank measure) per jam dari dragline dengan menggunakan boom pendek, dalam M³, dengan putaran 90°*

Jenis material		Ukuran *bucket*, M3								
		0,28	0,38	0,57	0,76	0,95	1,14	1,33	1,53	1,91
Tanah lempung berpasir	Kedalaman optimum, M	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6
	Ideal output, M³	53	72	99	122	149	168	187	202	233
Pasir dan kerikil	Kedalaman optimum, M	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6
	Ideal output, M³	49	69	95	118	141	160	179	195	225
Tanah biasa	Kedalaman optimum, M	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	2,9	3,0	3,2
	Ideal output, M³	42	57	80	103	126	145	160	175	202
Lempung padat, keras	Kedalaman optimum, M	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,7
	Ideal output, M³	26	42	69	84	103	122	137	149	175
Lempung adhesive, basah	Kedalaman optimum, M	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,7
	Ideal output, M³	15	23	42	57	72	84	99	110	133

Sumber dari buku *Construction Planning, Equipment, And Methods*, oleh R.L. Peurifoy. (Source: Power *Crane* and Shovel Association).

Hasil produksi atau output dari *dragline* dinyatakan dalam M^3 per jam dan diukur dengan kondisi bank (*bank measure*), yaitu seperti tanah sewaktu dalam keadaan aslinya. Seperti kita ketahui tanah dapat diukur dengan tiga keadaan, yaitu keadaan aslinya (bank), keadaan setelah dibongkar dengan mesin (*loose material/ material longgar*), kemudian keadaan setelah dipadatkan dengan mesin pemadat (*compacted material*). Dari *bank material* menjadi *loose material*, untuk tanah biasa, volume akan berkembang sekitar 25%, tetapi prosentase tersebut tergantung dengan jenis tanahnya (lihat tabel 5.1). Sehingga untuk mengembalikan volume dari *loose material* menjadi *bank material* adalah $\frac{\text{volume loose}}{1,25}$. Kita selalu berpatokan dengan keadaan *bank*, karena pengukuran volume pemotongan tanah yang diukur oleh juru ukur adalah keadaan *bank*. Ambil suatu contoh *dragline* dengan *bucket* 1,53 M^3. Dengan volume tersebut *bucket* dapat membawa *loose material* sebanyak $1,2 \times 1,53\ M^3 = 1,836\ M^3$ *(heap capacity)*. Atau jika dijadikan volume tanah aslinya (*bank measure*) = $\frac{1,836}{1,25}\ M^3 = 1,4688\ M^3$. Jika *dragline* mampu beroperasi dengan dua putaran per menit (jumlah putaran ini perlu dicoba di lapangan langsung), maka produksi *dragline* per jam dengan volume *bank measure* adalah $2 \times 60 \times 1,4688\ M^3 = 176,256\ M^3$. Dalam kenyataannya di lapangan jauh lebih rendah dari volume ini karena beberapa faktor yang belum dimasukan. Pada tabel 4.13 merupakan hasil produksi ideal dari *dragline* dengan menggunakan boom pendek, untuk berjenis-jenis tanah, dengan kedalaman galian yang optimum, dan *dragline* beroperasi memutar 90°, dalam M^3 (*bank measure*), dan tanpa berhenti.

Sebenarnya masih banyak faktor yang mempengaruhi produksi dari *dragline*, yang perlu diterapkan dengan pengalaman di lapangan, terutama kondisi *management*, kondisi tanah, dan kondisi operator. Tetapi di sini akan diberikan faktor karena pengaruh dari kedalaman galian yang selain dari kedalaman optimum seperti dalam tabel 14.13, dan juga faktor pemutaran mesin selain

dari pemutaran 90° seperti dalam tabel 4.13. Faktor ini dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14. *Faktor pengaruh kedalaman galian dan sudut pemutaran mesin terhadap hasil produksi dari dragline.*

prosentase optimum kedalaman	Sudut pemutaran (°)							
	30	45	60	75	90	120	150	180
20	1,06	0,99	0,94	0,90	0,87	0,81	0,75	0,70
40	1,17	1,08	1,02	0,97	0,93	0,85	0,78	0,72
60	1,24	1,13	1,06	1,01	0,97	0,88	0,80	0,74
80	1,29	1,17	1,09	1,04	0,99	0,90	0,82	0,76
100	1,32	1,19	1,11	1,05	1,00	0,91	0,83	0,77
120	1,29	1,17	1,09	1,03	0,98	0,90	0,82	0,76
140	1,25	1,14	1,06	1,00	0,96	0,88	0,81	0,75
160	1,20	1,10	1,02	0,97	0,93	0,85	0,79	0,73
180	1,15	1,05	1,98	0,94	0,90	0,82	0,76	0,71
200	1,10	1,00	1,94	0,90	0,87	0,79	0,73	0,69

Sumber dari buku *Construction Planning, Equipment, And Methods*, oleh R.L. Peurifoy. (Source: Power *Crane* and Shovel Association).

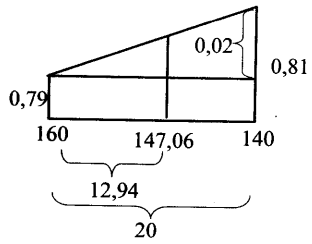
Contoh

Pada suatu proyek pekerjaan jalan karena masalah metode kerjanya, perlu penggalian dengan *dragline*. Jenis tanah yang harus digali adalah berupa lempung padat yang keras, dengan kedalaman 5 M. Karena kondisi lapangan terpaksa *dragline* harus menumpahkan hasil galian dengan berputar 150°. Berapa hasil produksi per jam dari *dragline*, jika dipakai *dragline* dengan *boom* yang pendek dan ukuran *bucket* 1,33 M^3.

Penyelesaian

Kedalaman optimum dengan *bucket* 1,33 untuk tanah lempung padat keras, menurut tabel 4.13 adalah 3,4 M. Kenyataan kedalaman yang digali adalah 5 M. Jadi prosentase dari kedalaman optimum adalah $\frac{5}{3,4}$ x 100% = 147,06%. Dengan putaran mesin *dragline* 150° dan dengan prosentase dari kedalaman optimum 147,06%, faktor pengaruh menurut tabel 4.14, dicari secara interpolasi (sisipan lurus), sebagai berikut

$0,79 + \left(\frac{12,94}{20} \times 0,02\right) = 0,80294$, jadi hasil produksi *dragline* adalah137 x 0,80294 = 110,00278 M^3 per jam. Jika dalam 1 jam *dragline* hanya beroperasi selama 50 menit, maka hasil produksi *dragline* adalah $\frac{50}{60}$ x 110,00278 = 91,669 M^3 per jam.



Pengaruh dari kondisi *management* dari *dragline* dapat disamakan dengan backhoe yaitu seperti pada tabel 4.3.

Dalam menggunakan *dragline*, tipe *bucket* yang dipasang juga ada pengaruhnya terhadap hasil produksi dari *dragline*. Biasanya *bucket* tersedia ada tiga tipe, yaitu untuk beban ringan (*light duty*), beban sedang (*medium duty*), dan beban berat (*heavy duty*). *Bucket* beban ringan dipakai untuk galian pada tanah yang mudah tercangkul, misalnya pasir, tanah yang berpasir. *Bucket* dengan beban sedang dipakai untuk galian pada tanah biasa, kerikil. *Bucket* dengan beban berat dipakai untuk galian lumpur padat, *abrasive* material, batuan bekas ledakan. Untuk galian material didasar sungai dipakai tipe *bucket* yang bagian bawahnya terdapat lubang-lubang, sehingga kandungan air dalam material sewaktu *bucket* diangkat dapat keluar dari lubang-lubang tersebut. Perlu diperhatikan jumlah beban dari *bucket* dan material yang dibawanya tidak melebihi beban yang disarankan.

Tabel 4.15. *Berat dan dimensi bucket dari dragline*

Ukuran *bucket* M^3	Struck capacity* M^3	Berat *bucket*, KG			Dimensi dari *bucket*, M		
		Beban ringan	Beban sedang	Beban berat	Panjang	Lebar	Tinggi
0,28	0,31	344,73	399,16	-	0,889	0,711	0,508
0,38	0,48	578,33	662,24	952,54	1,016	0,914	0,584
0,57	0,68	743,89	839,14	1304,07	1,143	1,041	0,635
0,76	0,91	1006,97	1335,82	1678,29	1,219	1,143	0,685
0,95	1,10	1093,15	1496,85	1932,30	1,168	1,143	0,787
1,14	1,33	1365,31	1700,97	2052,50	1,346	1,219	0,812
1,33	1,50	1530,87	1827,97	2177,24	1,371	1,219	0,914
1,53	1,70	1780,34	2188,58	2449,39	1,371	1,295	0,965
1,72	1,90	1859,72	2426,71	2834,95	1,422	1,346	0,990
1,91	2,10	1954,98	2574,13	2966,49	1,549	1,346	1,016
2,10	2,32	2245,28	2823,61	3352,04	1,600	1,397	1,041
2,.29	2,55	2521,97	3020,92	3592,44	1,651	1,397	1,092

Sumber dari buku *Construction Planning, Equipment, And Methods*, oleh R.L. Peurifoy.

* Struck capacity - kapasitas-volum-rata ket: Kapasitas ember gali, kotak, dan lain-lain seperti terisi penuh air. Bahan-longgar di atas bidang-tepi-embernya dihilangkan hingga rata dengan tepinya (sumber dari *Istilah Teknik Sipil Inggris Indonesia* - Panitia Dep. PUTL - UGM. Badan Penerbit pekerjaan Umum)

Contoh.

Mesin *dragline* harus menggali tanah, yang mempunyai berat 1500 KG per M^3, tanah dalam keadaan longgar/lepas/*loose material*. Kita akan gunakan ukuran *bucket* 1,53 M^3, dengan beban sedang, seperti dalam tabel 4.15, berarti mempunyai berat 2188,58 KG. *Dragline* yang digunakan dengan panjang boom 24,38 M dengan sudut kemiringan *boom* 40°, berarti kapasitas yag direkomendasikan adalah 3900 KG (dari tabel 4.12). Silahkan dianalisa kegiatan ini.

Analisa.

Dari tabel 4.15 berat *bucket* 2188,58 KG
Dari tabel 4.15 struck capacity 1,70 x 1500 = 2550,00 KG
Jumlah berat *bucket* + berat tanah 4738,58 KG

Padahal sesuai dari tabel 4.12, kapasitas yang direkomendasikan adalah 3900 KG, jadi *bucket* yang digunakan terlalu berat.

Kita akan coba lagi dengan menggunakan *bucket* ukuran 0,95 M^3,

Dari tabel 4.15 berat *bucket* 1496,85 KG
Dari tabel 4.15 struck capacity 1,10 x 1500 = 1650,00 KG
Jumlah berat *bucket* + berat tanah 3146,85 KG

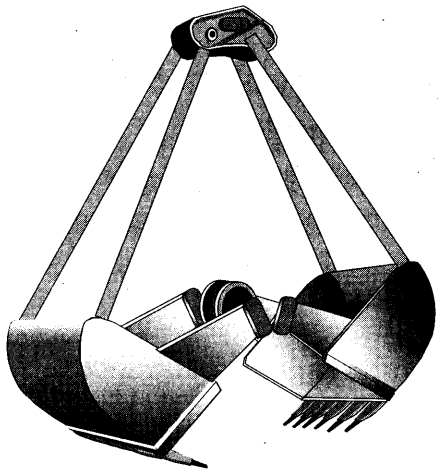
Padahal sesuai dari tabel 4.12, kapasitas yang direkomendasikan adalah 3900 KG, jadi *bucket* yang digunakan aman.

Seandainya dalam kegiatan ini diketahui dalamnya galian dan sudut putaran mesin, kita bisa analisa lebih lanjut dengan mencoba lagi dengan menggunakan boom yang lebih pendek, kemudian dipakai *bucket* 1,53 M^3, dan dengan muatan *heap capacity* (isian terenggok/*stapel*).

Jenis *bucket* lain yang dikaitkan dengan jenis mesin *crane* adalah *clamshells*. Bentuk *bucket* ini (lihat gambar 4.50) mengharuskan cara operasinya digantung secara vertikal. Dengan menggunakan *bucket* semacam ini paling cocok untuk memindahkan *loose material* (mate-

rial longgar) seperti tanah gusuran buldoser, pasir kerikil, dan dipindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain.

Bucket bentuk *clamshell* ini dapat digantung pada mobile *crane* atau dapat juga *track crane*. Untuk mengukur produksi dari *clamshell* ini agak sulit, karena tergantung dengan banyak faktor yang harus diperhitungkan. Sehingga kadang-kadang dapat dengan cara pengamatan di lapangan langsung. Dengan pengamatan di lapangan langsung dapat diukur waktu satu putaran (*cycle time*).



Gambar 4.50. *Bucket dengan bentuk clamsell*

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil produksi dengan menggunakan *bucket* berbentuk *clamshell* adalah di antaranya,

- Untuk jenis tanah tertentu sulit untuk memuat ke dalam *clamshell*, misalnya lempung yang padat dan keras, tanah keras tuff, tanah berbatu-batu besar (*boulders*).
- Banyak kesulitan untuk cara memuatnya
- Cara membongkar muatan jika harus diletakan ke dalam tempat tertentu, karena *bucket* terlalu banyak bergoyang

- Tinggi pengangkatan *bucket*
- Sudut putaran
- Faktor operator
- Faktor manajemen

-oo0oo-

5

PEMADATAN TANAH, STABILISASI TANAH DAN PEMBUATAN TANGGUL TANAH

5.1 Pendahuluan

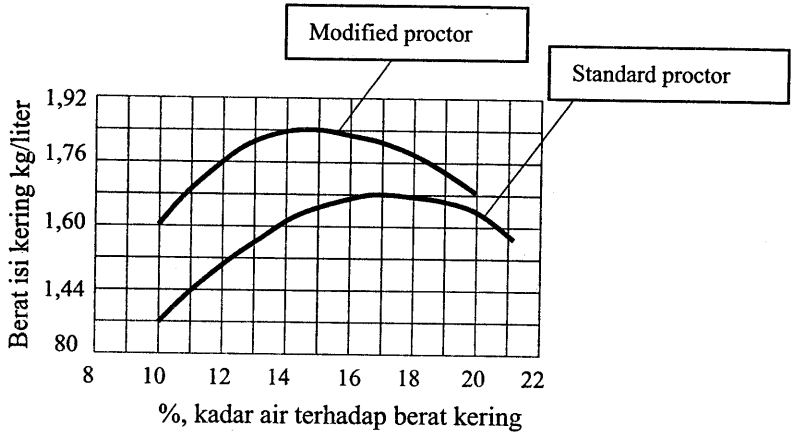
Dalam bab ini dibahas pemadatan tanah untuk bermacam-macam jenis pekerjaan, misalnya *subgrade* untuk pekerjaan jalan, pekerjaan pembuatan dasar dari landasan pesawat terbang, dasar pondasi struktur bangunan, untuk dam, bendung dan *levees*. Kadang-kadang kondisi tanah aslinya dapat langsung digunakan, sementara ada kondisi tanah yang harus digali, diproses dan dipadatkan untuk tujuan pembangunan. Pada pekerjaan jalan dan pekerjaan landasan pesawat terbang, setelah pekerjaan *cut & fill* selesai dikerjakan secara kasar dengan buldoser, kemudian diperhalus dengan *grader*. Elevasi *subgrade* yang dikerjakan dengan *grader* kadang-kadang dipertinggi beberapa centimeter, 2 – 4 CM terhadap elevasi yang ditentukan, karena dengan pemadatan tanah elevasi permukaannya kemungkinan akan turun.

Pemadatan tanah ini jika medannya luas dan tanpa ada gangguan pekerjaan, maka dapat dikerjakan dengan mesin. Kasus pemadatan tanah ini ada dua kemungkinan, pertama pemadatan tanah dasar dari hasil pemotongan tanah, kedua pemadatan tanah

urugan untuk mempertinggi elevasinya. Kedua hal tersebut tetap harus dipadatkan dengan kondisi,

- *optimum moisture content* (lihat gambar 5.1)
- tidak mengandung *clay* material dalam batas-batas tertentu

Untuk mengetahui *moisture content* harus selalu diikuti oleh tim dari laboratorium lapangan demikian juga kandungan *clay*. Bagi tenaga lapangan yang sudah sangat berpengalaman, dapat memperkirakan kondisi tanah dengan *optimum moisture content*. Dengan menggenggam kuat segumpal tanah kemudian dilepas dan menjelang tepat tidak pecah ini perkiraan yang cukup baik tetapi diikuti dengan cara melihat secara *physical* dari tanah tersebut. Perlu diperhatikan kadang-kadang kondisi yang sedikit lebih tinggi dari *optimum moisture content* keadaannya bisa seperti itu juga. Untuk keadaan permukaan tanah yang di atas *optimum moisture content,* dan jika kondisi cuaca panas/tidak mendung, maka untuk mengurangi *moisture content* dari lapisan tanah setebal ± 30 CM dapat juga dengan cara penguapan, tanah digaruk dengan *ripper* dari grader kemudian dibolak balik dengan *blade* dari *grader.*



Gambar 5.1. *Kurva kadar air vs berat isi kering yang menggambarkan pengaruh dari beberapa nilai kadar air terhadap kerapatan tanahnya.*

Tabel 5.1. *Pengembangan tanah dari tanah aslinya menjadi tanah longgar*

Jenis Tanah	Berat tanah KG/M³		Pengembangan, %	Faktor pengembangan
	Tanah asli	Tanah longgar		
	B	L	$(\frac{B}{L}-1)\times 100\%$	$\frac{L}{B}$
Lempung kering	1602	1187	35	0,74
Lempung lembab	1780	1305	35	0,74
Tanah biasa kering	1661	1329	25	0,80
Tanah biasa lembab	1898	1531	25	0,80
Tanah campur kerikil	1898	1578	20	0,83
Kerikil kering (biasanya campur *clay* dsb)	1661	1477	12	0,89
Kerikil basah (biasanya campur *clay* dsb)	2017	1768	14	0,88
Batu gamping/batu kapur	2610	1632	60	0,63
Batuan bekas ledakan (sangat bervariasi fragmentasinya, nilai ini untuk perkiraan)	2492	1566	60	0,63
Pasir kering	1543	1341	15	0,87
Pasir lembab	1602	1400	15	0,87
Batuan lumpur dan lempung karena sedimentasi	2076	1471	40	0,71

Sumber dari buku *Construction Planning, Equipment, And Methods,* oleh R.L. Peurifoy.

Tanah yang digali, diangkut ditebar dan dipadatkan akan mengalami perubahan volume yang cukup besar. Perubahan volume karena tanah menjadi longgar (*loose ground*), dan menjadi padat, ini perlu diperhitungkan terhadap volume tanah aslinya. Gambaran dari nilai pengembangan tanah asli kemudian menjadi tanah longgar dapat dilihat pada tabel 5.1 dan 5.2. Kedua tabel adalah merupakan nilai-nilai perkiraan dari pengembangan tanah. Untuk mendapatkan nilai yang lebih tepat dari pengembangan tanah, perlu ada percobaan di lapangan, karena jenis tanah sangat banyak variasinya. Mendapatkan nilai yang tepat ini sangat penting karena akan mempengaruhi metode kerja, yang berarti akan mempengaruhi biaya pelaksanaan juga.

Pemadatan tanah urugan, material tanahnya diambil dari *borrow area* (area bahan-galian-tanah) tertentu yang sudah diselidiki dengan analisa saringan. Pemadatan tanah dengan cara urugan ini dengan metode kerja, sebagai berikut. Tanah dari *borrow area* diangkut dengan *dump trucks* dan ditumpahkan pada lokasi yang sudah ditentukan. Perlu diperhitungkan pembongkaran tanah ini dengan cara berapa jumlah bongkaran *dump trucks* untuk setiap luas tertentu, atau jika pada proyek jalan dengan berapa jumlah bongkaran *dump trucks* untuk setiap panjang jalan tertentu. Ini berarti bahwa harus membuat percobaan pemadatan terlebih dahulu (*compaction trial*) untuk memperhitungkan berapa volume tanah longgar (*loose material*) yang harus di letakkan pada area seluas tertentu, dengan memperhitungkan pula faktor L = $\frac{\text{Excavated soil } (M^3)}{\text{Ground soil } (M^3)}$ dan C = $\frac{\text{Compacted soil } (M^3)}{\text{Ground soil } (M^3)}$ (*excavated soil* = tanah longgar, yang sudah tergali; ground soil = tanah asli/*bank; compacted soil* = tanah yang sudah dipadatkan dengan kadar air yang optimum/*optimum moisture content*) lihat tabel 5.2. Hal ini perlu dilakukan untuk efisiensi penggunaan unit alat-alat angkut, unit alat-alat penghamparan dan unit

alat-alat pemadatan. Jadi jangan sampai tanah menumpuk pada suatu luas tertentu sehingga buldoser atau *graders* harus membawa lagi kelain tempat yang lebih jauh, atau sebaliknya. Untuk ketebalan tanah yang harus ditebar tergantung dengan pemakaian alat pemadat/rollers yang digunakan (lihat tabel 19) dan ketebalan ini bisa berkisar antara 8 – 20 CM tanah dalam keadaan longgar (*loose material*).

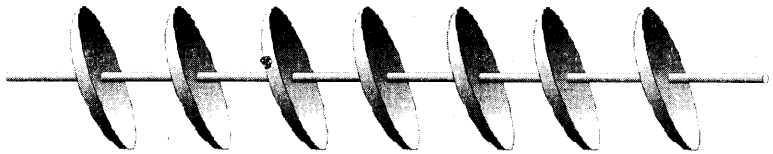
Dalam hal pemadatan tanah ini ada beberapa perbedaan pandangan sehubungan dengan tingkat kepadatan dan sehubungan dengan metode untuk mencapai kepadatan sesuai persyaratannya. Pemilik bangunan menginginkan yang terpadat dengan biaya rendah, sedangkan kontraktor atau pelaksana akan bekerja dengan membuat kepadatan hanya sampai yang sesuai dengan persyaratan dan dengan biaya pelaksanaan yang rendah. Dalam dokumen kontrak kadang-kadang bermacam-macam persyaratan dalam hal pemadatan ini, tetapi sekarang pemilik bangunan hanya menghendaki hasil akhir dari pemadatan. Pemilik bangunan hanya mensyaratkan kepadatannya minimal harus mencapai 95% dari kepadatan *relatif density*, berdasar *modified Proctor test.* Dengan persyaratan semacam ini kontraktor akan dapat menentukan sendiri metode kerja pelaksanaannya yang diusulkan kepada konsultan supervisi atau kepada pemilik bangunan. Kontraktor akan melaksanakan dengan metode kerja yang paling efisien dan biaya yang rendah dari hasil pengalamannya.

5.2 Pembuatan Stok Penyimpanan Material Tanah Urugan untuk Konstruksi

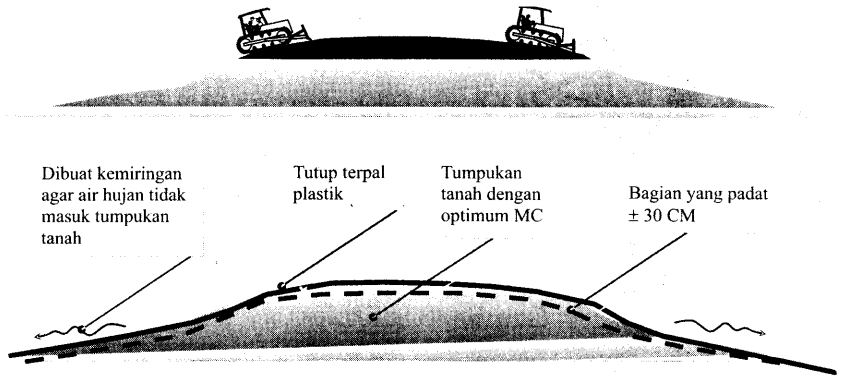
Dalam suatu kegiatan struktur dengan pemadatan tanah, biasanya tidak bisa langsung diambil dari *borrow pit*, kemudian dipadatkan pada lokasi struktur yang sudah ditentukan. Hal ini karena selain jenis tanahnya, pemadatan tanah juga harus dengan kadar air yang optimum. Dengan demikian perlu memperhitungkan

jadwal kapan harus mulai mempersiapkan pembuatan material tanah, yang mana mungkin bisa dilakasanakan secara simultan dengan pembuatan strukturnya. *Borrow area* harus ditentukan dengan diadakan penyelidikan tanah terlebih dahulu. Karena ada struktur yang memerlukan jenis *granular soil*, misalnya untuk badan jalan, lapangan terbang, ada juga struktur yang memerlukan jenis *clay*, misalnya untuk *core* dari struktur *levee*. Untuk pembuatan material tanah urugan, yang dikerjakan pada lokasi *borrow area*, pertama kali membersihkan lapisan permukaan tanah (*topsoil*) yang biasanya mengandung bahan-bahan organik, puing-puing/debris dan benda-benda lain yang bisa mengakibatkan adanya rongga di dalam tanah. Setelah permukaan tanah bersih dari bahan-bahan organik dan puing-puing, langkah berikutnya adalah memotong lapis demi lapis permukaan tanah tersebut. Kadang-kadang dalam beberapa sentimeter sudah terjadi perbedaan kadar air tanahnya, dan jika ada kecenderungan kadar air melebihi *optimum moisture content*, maka perlu dibolak balik dengan menggunakan *disk harrow* (garu berbentuk piringan cekung dan tajam - gambar 5.2) yang ditarik dengan traktor; dengan tanah dibolak balik, jika udara kering dan panas maka kandungan air di dalam tanah juga akan cepat menguap selain juga akan membuat rata kadar airnya; dan jika tanah tersebut kadar airnya kurang dari optimumnya, maka tumpukan tanah tersebut sambil diperciki air, dibolak balik terus dengan *disk harrow*. Air harus berupa percikan agar dapat merata. Setelah mencapai *optimum moisture content*, untuk maksud menjadikan stok penyimpanan tanah dalam beberapa hari, tumpukan perlu dipadatkan dengan maksud mengurangi penguapan, karena dengan padatnya lapisan tanah bagian atas setebal ± 30 CM maka akan menahan penguapan. Pemadatan ini cukup dengan dinjak-injak oleh buldoser yang beroperasi dilokasi tersebut sambil dijadikan gundukan tanah, dan setelah itu tumpukan tanah ditutup dengan terpal plastik agar selain mengurangi penguapan, juga menghindari hujan yang akan menambah kadar

airnya (gambar 5.3). Disebutkan di atas pemadatan dengan buldoser yang beroperasi di daerah tersebut adalah untuk efficiency, karena biasanya *borrow area* ini jauh letaknya dari lokasi proyek, sehingga jika khusus mendatangkan alat pemadat akan tidak efisien. Jika tanah tersebut akan digunakan, maka permukaan tumpukan tanah yang padat disisir dengan buldoser atau dengan *track loader* dan dicampur dengan bagian bawahnya agar kadar air merata, untuk diangkut dengan *dump truck*.



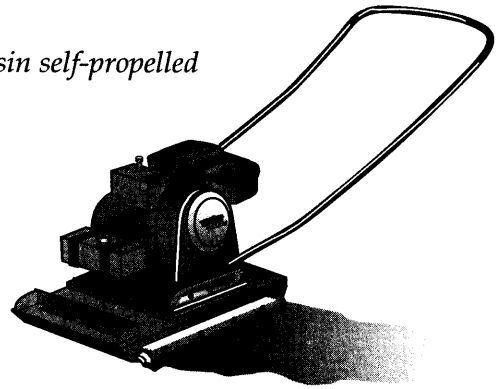
Gambar 5.2. *Sketsa disk harrow, garu berbentuk piringan cekung dan tajam, jika ditarik dengan traktor tanah dapat terbongkar dan membalik tanah tersebut*



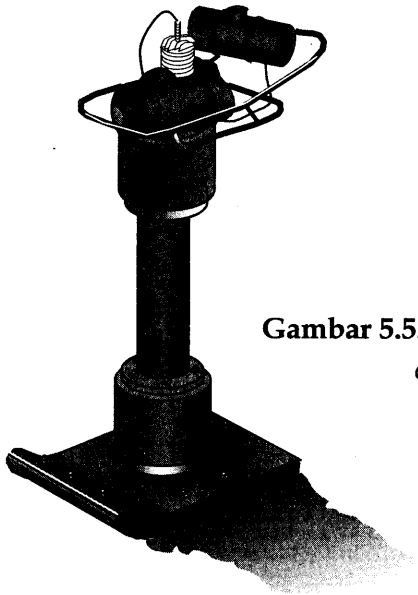
Gambar 5.3. *Cara penyimpanan material tanah untuk urugan yang sudah memenuhi optimum moisture content, dipadatkan ringan dengan diinjak-injak buldoser, kemudian ditutup dengan plastik agar tidak terjadi penguapan dan menghindari tambahnya air karena hujan.*

5.3 Pemadatan Tanah dengan Menggunakan Mesin Pemadat

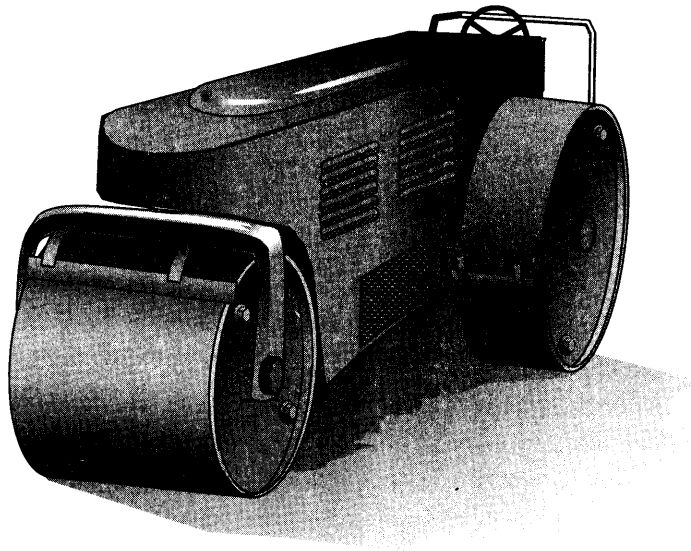
Pemadatan tanah *subgrade* dari hasil pemotongan, jika pada daerah yang luas dan tidak ada gangguan dalam area pekerjaan, maka dapat dikerjakan dengan mesin pemadat tanah. Sketsa mesin pemadat tanah sangat banyak jenisnya, dapat digambarkan seperti Gambar 5.4 - Gambar 5.11 (gambar-gambar tanpa skala).



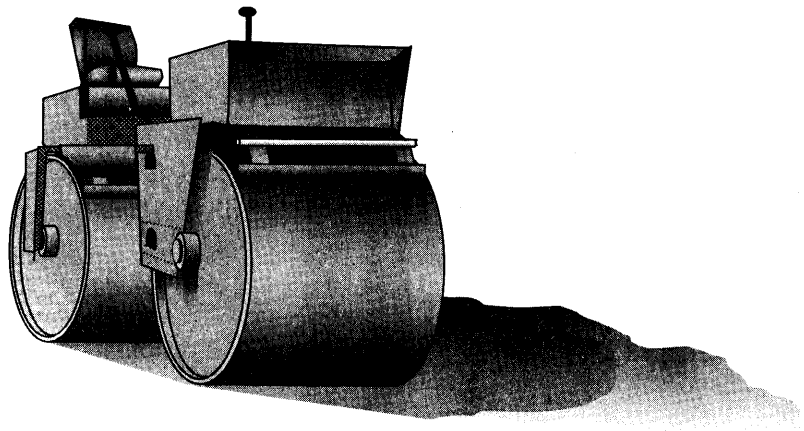
Gambar 5.4. *Sketsa jenis mesin self-propelled vibro-plate*



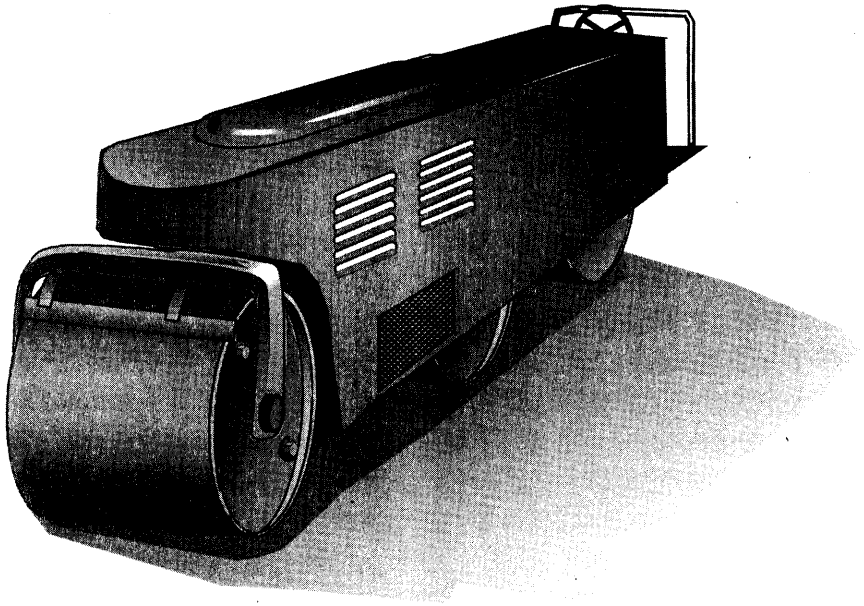
Gambar 5.5. *Sketsa jenis mesin manually operated rammer*



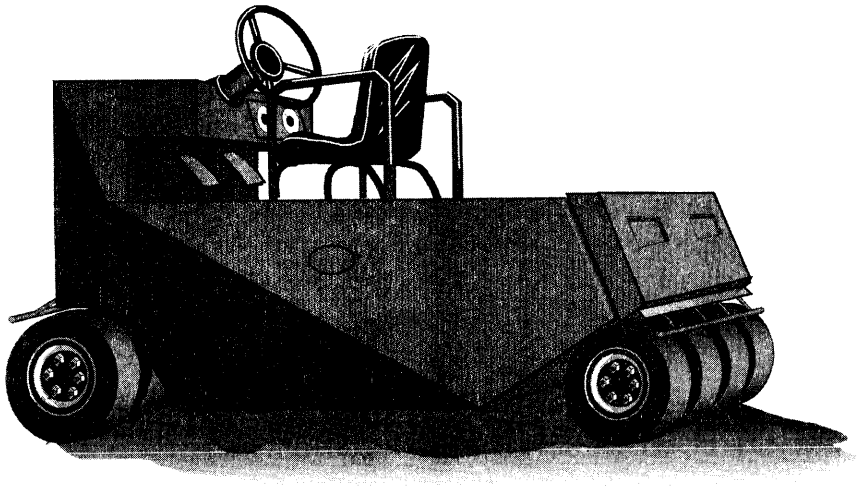
Gambar 5.6. *Sketsa jenis mesin three-wheel two-axle roller*



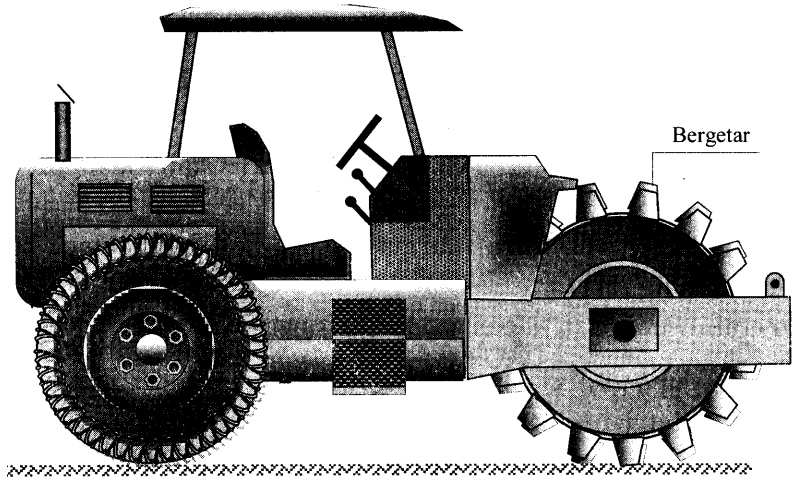
Gambar 5.7. *Sketsa jenis mesin two-wheel tandem roller*



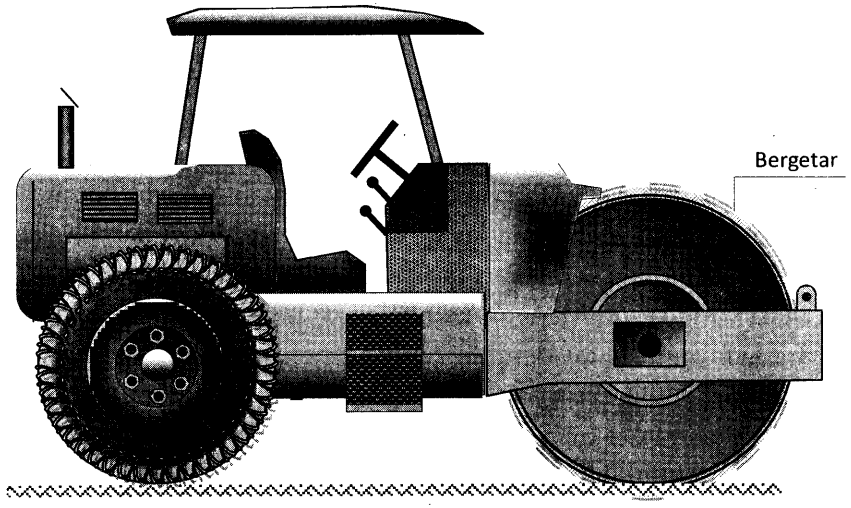
Gambar 5.8. *Sketsa jenis mesin three-wheel tandem roller*



Gambar 5.9. *Sketsa jenis mesin pneumatic-tired roller*



Gambar 5.10. *Sketsa jenis mesin vibrating sheep's foot roller*



Gambar 5.11. *Sketsa jenis mesin vibrating smooth drum roller*

Dalam pemadatan tanah kita perlu mengetahui perubahan volume dari keadaan asli tanah (*ground soil*) menjadi tanah galian (*excavated soil*), dan perubahan volume dari keadaan asli tanah

(*ground soil*) menjadi tanah yang sudah dipadatkan (*compacted soil*) (lihat tabel 5.2). Hal ini sangat penting dalam hal,

- memperkirakan kebutuhan volume tanah padat untuk timbunan
- memperkirakan volume yang akan dipindahkan (buangan dari galian)
- menghitung kebutuhan armada alat-alat berat dan kombinasinya
- memilih jenis dan kapasitas alat-alat berat yang akan dipakai

Penggunaan dari jenis-jenis alat tersebut juga berlain-lainan, tergantung dari jenis tanah yang akan dipadatkan. Berikut ini akan disajikan tabel penggunaan alat yang cocok atau sesuai, dengan dua versi, yang dapat untuk bahan pembanding yaitu pada tabel 5.3 dan tabel 5.4. Perlu ditekankan di sini bahwa setiap pemadatan tanah, pertama harus diyakini terlebih dahulu, bahwa tanah yang akan dipadatkan sudah memenuhi sesuai spesifikasi, mempunyai *optimum moisture content* dan berikutnya adalah sudah membuat *compaction trial*. *Compaction trial* adalah membuat percobaan pemadatan dengan jenis tanah yang sama dengan jenis tanah yang akan dipadatkan. Ukuran percobaannya adalah lapisan tanah dengan lebar = lebar alat pemadat + 1M kanan + 1 M kiri dan panjang ± 30 M. Kemudian ketebalan lapisan tanah nya adalah ± 20 - 30 CM atau yang sesuai dengan ketebalan di lapangan yang akan dilaksanakan dan sesuai dengan rencana penggunaan alatnya, dan kemudian dibuat percobaan kepadatan tanah dengan jumlah *passings*/lewatan antara 6 ~ 9; dan *crew* dari laboratorim lapangan akan menentukan jumlah *passings* yang tepat yang dapat memenuhi kepadatan yang disyaratkan dalam *specification* dari *contract document*. Mesin alat pemadat yang digunakan juga harus sama dengan mesin alat pemadat yang akan dipakai di lapangan nantinya, yaitu jenis alatnya, tipe dan kapasitas alat dan beratnya. Untuk memilih alat pemadat yang digunakan yang cocok untuk suatu jenis tanah tertentu dapat menggunakan tabel 5.3 atau 5.4. Dari tabel 19 tampak bahwa dengan *sheep's foot roller, pneumatic-tired roller* dan *vibratory roller*, dapat menghasilkan kepadatan hampir semua jenis tanah tanah sangat baik.

Beberapa tipe dari alat pemadat/*compactor machine*

Pada dasarnya pemadatan adalah dengan menerapkan energi pada tanah dengan satu atau beberapa cara:

- dengan gaya meremas
- dengan berat yang static
- dengan getaran
- dengan pukulan

Tabel 5.2. *Rasio perubahan volume dari beberapa jenis tanah*

Item		L	C
Rock	*Hard rock* *Semi-hard rock* *Soft rock*	1,70 - 2,00 1,55 - 1,70 1,30 - 1,70	1,30 - 1,50 1,20 - 1,40 1,00 - 1,30
Boulder, Cobble stone	*Boulder and Cobble stone*	1,10 - 1,15	0,95 - 1,05
Pebble *Pebbly soil*	*Pebble* *Pebbly soil* *Consolidated pebbly soil*	1,10 - 1,20 1,15 - 1,20 1,25 - 1,45	1,10 - 1,05 0,90 - 1,00 1,10 - 1,30
Sand	*Sand* *Sand mix with boulders and cobble stones*	1,10 - 1,20 1,15 - 1,20	0,85 - 0,95 0,95 - 1,00
Sandy soil	*Sandy soil (earth)* *Sandy soil containing boulders & cobblestones*	1,20 - 1,30 1,40 - 1,45	0,85 - 0,90 0,90 - 0,95
Clayey soil	*Clay soil* *Clay soil containing pebbles* *Clay soil containing boulders & cobblestones*	1,25 - 1,35 1,35 - 1,40 1,40 - 1,45	0,85 - 0,95 0,90 - 1,00 0,90 - 0,95
clay	*Clay* *Clay containing pebbles* *Clay containing boulders and cobble stones*	1,20 - 1,45 1,30 - 1,40 1,40 - 1,45	0,85 - 0,95 0,90 - 0,95 0,90 - 0,95

Sumber dari buku Construction *Management* (The Post Graduate Program on Highway Engineering, ITB and DPUT)

Tabel 5.3. *Alat Pemadat yang Sesuai dengan Jenis Tanah*

Jenis tanah/ batuan / Alat pemadat	*Boulder, cobble stone; pebble*	*Very hard clay; viscosity clay*	*Very soft clay; viscosity clay*	*Pebbly clay; viscosity clay*	*Clay; clayey soil*	*Sandy soil*	***sand***	*Pebbly soil*	Keterangan
Road roller	A	A	A	A	B	B	C	C	A: Dapat digunakan efektif B: Jika tidak ada alat pemadat dapat digunakan C: Tidak disarankan untuk digunakan
Self-running tipe Tire-roller	B	A	A	A	A	A	C	B	
Trailer tipe Tire roller	B	A	A	A	A	A	C	B	
Tamping roller	C	C	B	B	B	B	C	A	
Vibration roller	A	A	A	A	C	B	C	C	
Vibration compactor	B	A	A	A	C	B	C	C	
Rammer	B	A	A	A	B	B	C	B	
Buldoser	A	A	A	A	B	B	C	B	
Swamp buldoser	C	C	C	C	B	B	A	C	

Sumber dari buku *Construction Management* (The Post Graduate Program on Highway Engineering, ITB and DPUT)

Notasi dalam tabel 5.2 adalah,

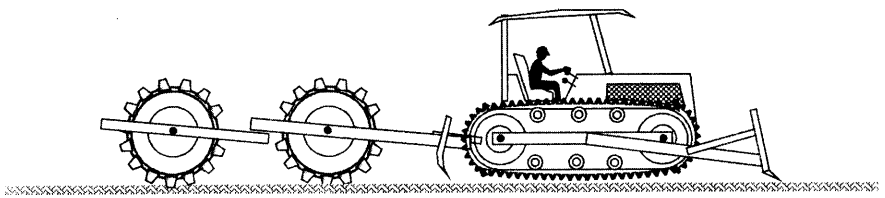
$$L = \frac{\text{Excavated soil}\,(M^3)}{\text{Ground soil}\,(M^3)} \qquad C = \frac{\text{Compacted soil}\,(M^3)}{\text{Ground soil}\,(M^3)}$$

Beberapa tipe dari *compacting equipment*, adalah:

1. *Tamping rollers*
2. *Smooth-wheel rollers*
3. *Pneumatic-tired rollers*
4. *Vibrating rollers*, termasuk *tamping*, *smooth-wheel*, dan *pneumatic*
5. *Self-propelled vibrating plates and / or shoes*
6. *Manually propelled vibrating plates*
7. *Manually propelled compactors*

1. *Tamping rollers*

Tamping rollers adalah dari tipe *sheep's-foot rollers* atau modifikasi dari padanya. *Roller* ini dapat dengan cara ditarik oleh tractor atau dengan bergerak sendiri/*self propelled* (gambar 5.10). Pemadatnya adalah berupa drum silinder besi yang kosong dan pada permukaannya dipasang dengan las berupa jonjot-jonjot dari besi yang merupakan kaki-kaki domba. Satu unit *compactor* ini dapat terdiri dari satu atau beberapa drum yang dipasang pada satu atau lebih horisontal (gambar 5.12).



Gambar 5.12. *Tractor-pulled sheep's foot rollers*

Berat dari drum besi tersebut dapat ditambah dengan mengisi air atau pasir sehingga tekanan ke tanah pada jonjot dapat lebih besar lagi, sehingga dapat mencapai lebih dari 750 psi (52,73 kg/cm^2) di bawah jonjot.

Jika *tamping roller* bergerak di atas permukaan tanah, maka jonjot-jonjot besi masuk ke dalam tanah dan merupakan gerakan meremas-remas (*kneading*) tanah dan tekanan untuk mengaduk dan memadatkan tanah dari bawah sampai atas dari lapisan tersebut. Dengan bergeraknya mesin pemadat ini pada permukaan tanah, maka penetrasi dari jonjot-jonjot besi semakin berkurang sampai pada akhirnya dapat dikatakan jonjot-jonjot berjalan di atas tanah.

Sheep's-foot rollers sangat efektif untuk pemadatan tanah berupa *clay* dan campuran *sand* dan *clay*. Tetapi kurang cocok untuk pemadatan jenis tanah berupa *granular soil* seperti pasir dan kerikil. Juga tebal dari lapisan tanah yang dipadatkan terbatas sampai kira-kira sepanjang jonjot-jonjot nya.

2. Smooth-wheel rollers

Alat pemadat ini dapat di klasifikasikan dengan tipenya atau dengan beratnya. *Three-wheel two axle* dapat dilihat pada gambar 5.6. Roda depan digunakan untuk kendalinya (*steering*), sedangkan dua buah roda yang di belakang untuk gaya penggeraknya. *Two-wheel tandem roller* seperti pada gambar 5.7. Ada lagi *three-wheel tandem roller* (gambar 5.8), ini berbeda dengan *two-wheel tandem roller; three-wheel tandem roller* mempunyai tiga roda drum dan tiga as roda. *Three-wheel tandem roller* dapat lebih efektif dari pada *two-wheel tandem roller* dan *three-wheel two axle roller*, dalam mengeliminasi atau mengurangi kekasaran permukan karena konsentrasi dari tekanan roda tengah ketika alat pemadat ini melewati bagian-bagian yang menonjol dari permukaan yang harus dipadatkan. *Smooth-wheel roller* dapat juga diklasifikasikan dengan beratnya, yang biasanya dinyatakan dalam ton. Roda drum pada *smooth-wheel roller* ini dapat diisi dengan pasir atau air untuk menambah beratnya. Jika alat pemadat ini dikatakan dengan berat 14 - 20 ton, ini berarti bahwa minimum beratnya adalah 14 ton dan dapat ditambah berat sampai maksimum 20 ton.

Alat pemadat ini jika untuk memadatkan tanah yang *cohesive*, maka ada kecenderungan membentuk lapisan yang keras pada permukaaannya sehingga pengaruhnya akan mengurangi kepadatan pada bagian bawah dari lapisan yang dipadatkan. Tetapi alat pemadat ini efektif untuk pemadatan pada jenis tanah *granular* soil, seperti pasir kerikil dan batu pecah, dan juga alat pemadat ini cocok untuk penghalusan pada permukaan tanah yang telah selesai dipadatkan dengan *tamping roller*.

3. *Pneumatic tired roller*

Alat pemadat ini (gambar 5.9) mempunyai kemampuan untuk meremas-remas tanah sehingga dapat memadatkan sampai di bawah permukaan tanah. Hal ini adalah karena posisi roda pemadat bagian depan dan bagian belakang saling selang-seling, jadi jika roda depan sebanyak empat buah, roda belakang sebanyak lima buah. Jadi semua roda belakang akan menggilas semua jalur permukaan tanah di antara roda-roda depan yang belum tergilas. Mesin alat pemadat ini dapat bergerak sendiri atau ditarik, tetapi sekarang kebanyakan dapat bergerak sendiri (*self propelled*). Mesin alat pemadat ini juga dapat ditambah pemberat dengan mengisi air di dalam badannya. Tekanan ban dapat bervariasi 90 - 150 psi atau 6,32 KG/CM^2 sampai 10,54 KG/CM^2. Dengan tekanan ban yang tinggi dan beban yang berat, mesin pemadat ini mampu untuk memadatkan semua tipe tanah sampai dengan lapisan yang lebih tebal.

4. *Vibrating compactors*

Pada jenis-jenis tertentu dari tanah misalnya pasir, kerikil dan batu-batu dapat dipadatkan dengan baik menggunakan alat pemadat kombinasi tekanan dan getaran. Dengan getaran maka partikel-partikel material ini akan mengambil posisi saling mengisi sehingga material menjadi padat.

Beberapa tipe dari *compactor* ini adalah,

1. *vibrating sheep's-foot rollers*
2. *vibrating steel-drum rollers* (ada yang menyebut *vibrating smooth-drum rollers*)
3. *vibrating pneumatic-tired rollers*
4. *vibrating plates or shoes*

Getaran dari *compactors* ini bervariasi dari 1000 - 5000 per menit.

Vibrating plates or shoes

Pelat-pelat bergetar dengan peralatan yang *eccentric* yang digerakkan dengan cara listrik, *hydraulic* atau *mechanic*. Plat besi ini umumnya berukuran 24 x 36 inci, dapat bergetar secara vertikal maupun horisontal. Alat ini biasanya dipasang pada kendaraan.

Manually operated vibrating compactors

Gambar 5.4 menggambarkan *manually operated gasoline-engine-driven compactor* yang sangat efektif untuk pemadatan tanah dan aspal pada lokasi di mana alat-alat berat yang besar tidak dapat melaksanakan, misalnya pada daerah yang sempit. Biasa juga disebut dengan *self-propelled vibro-plate*.

Manually operated rammer

Gambar 5.5 adalah *gasoline-engine-driven rammer* yang dapat memberikan 450 - 650 pukulan per menit, atau berupa *impact energi* 18.700 ft-lb atau 2,585 KG-M per menit pada tanah di bawahnya.

5.4 Stabilisasi Tanah (*Soil Stabilization*)

Dalam arti yang luas stabilisasi tanah adalah merupakan metode penanganan tanah agar menjadi lebih stabil (kokoh, kuat, tidak berubah bentuk, solid). Sifat-sifat fisik dan mekanik dari tanah seperti kekuatan, kekakuan, kuat desak, permeability, potensial pemuaian, dan kepekaan muai susut karena perubahan kadar air, kesemuanya dapat dirubah dengan penanganan beberapa cara dimulai dari pemadatan tanah biasa sampai dengan metode kerja teknik yang canggih misalnya *grouting, dewatering, waterproofing, drainage*, dan perkuatan dengan cara thermal. Tetapi khusus stabilisasi tanah untuk pekerjaan jalan dilakukan dengan cara memproses tanah di tempat atau sekitarnya, kemudian dipadatkan. Banyak jenis tanah yang mengalami perubahan moisture content akan memuai dan menyusut dengan perubahan volume yang sangat besar. Seperti kita ketahui jenis lempung kering padat dapat

memuai sampai 40% dengan bertambahnya kadar airnya. Jika pada rencana perkerasan jalan atau *pavement* akan dilaksanakan pada tanah semacam ini, maka sangat perlu untuk menstabilkan tanah tersebut untuk mencegah atau mengurangi terjadinya perubahan volume yang sangat besar, untuk menghindari perubahan-perubahan bentuk pada *pavement*.

Stabilisasi tanah ini dapat diterapkan langsung pada tanah atau dapat juga sebagai urugan tanah. Juga stabilisasi dapat diterapkan pada material subgrade, subbase atau base.

Beberapa metode stabilisasi tanah di antaranya adalah,

1. perpaduan dan pencampuran tanah yang bersifat heterogen untuk menghasilkan tanah yang lebih bersifat homogen.
2. menambahkan kapur/*hydrated lime* pada tanah yang mengandung banyak *clay*.
3. mencampur *asphalt* dengan tanah.
4. mencampur semen dengan tanah.
5. menambahkan zat-zat kimia tertentu pada tanah

5.4.1 Perpaduan dan pencampuran tanah

Jika tanah yang rencana untuk dipakai urugan sangat bersifat heterogen, maka perlu dicampur selama dalam operasi penggalian dengan menggunakan alat-alat berat, misalnya *power shovel* atau *loader*. Jika material tanah ini sudah di tempat lokasi urugan, maka perlu diaduk/dicampur lagi dengan *disk harrow* (garu yang berupa piringan) dalam beberapa *passes*/lewatan.

Kadang-kadang perlu mencampur beberapa jenis tanah dari beberapa lokasi dengan proporsi tertentu, sehingga hasil campurannya dapat memenuhi syarat gradasi yang diminta. Dari masing-masing bahan dari tempat yang berlainan tersebut harus diketahui gradasinya dengan analisa saringan. Kemudian dengan cara grafis, dengan cara coba-coba, atau dengan cara analitis berusaha mencampur dengan komposisi tertentu dari masing-masing

jenis tanah, agar bisa mencapai gradasi atau mendekati gradasi yang dipersyaratkan. Berikut ini adalah contoh untuk mencampur beberapa jenis tanah sehingga dapat memenuhi syarat sesuai persyaratan yang diminta, dengan cara grafis, cara coba-coba dan cara analitis.

Diketahui dua macam bahan agregat dari lokasi $\bar{A}$ dengan gradasi A dan dari lokasi $\bar{B}$ dengan gradasi B, seperti dalam tabel 5.5. Kita lihat satu persatu dari prosentase lolos untuk masing-masing saringan dari gradasi A dan gradasi B.

- saringan 1 ½ ", gradasi A dan gradasi B masuk persyaratan
- saringan ¾", gradasi A dan gradasi B masuk persyaratan
- saringan $^3/_8$ ", gradasi A dan gradasi B keluar persyaratan
- saringan No 4, gradasi A dan gradasi B keluar persyaratan
- saringan No 16, gradasi A dan gradasi B keluar persyaratan
- saringan No 50, gradasi A dan gradasi B keluar persyaratan
- saringan No 200, gradasi A masuk persyaratan dan gradasi B keluar persyaratan

Kolom paling kanan dari tabel 5.5 adalah persyaratan dari gradasi yang harus dipenuhi dari bahan tersebut. Kita akan mengkombinasikan gradasi A dan gradasi B dengan cara grafis seperti dalam gambar 5.3, agar dapat masuk sesuai dengan gradasi persyaratan, dengan urutan kerja sebagai berikut:

- Plotkan titik-titik prosentase lolos masing-masing saringan kedua agregat A dan B pada sumbu ordinat (sumbu vertikal sebelah kanan dan sebelah kiri). Sebagai contoh dalam gambar 5.3, bahan yang lolos saringan $^3/_8$ " bahan A 70% diplotkan pada ordinat sebelah kiri, dan bahan B 85% diplotkan pada ordinat sebelah kanan.
- Hubungkan titik-titik yang baru dibuat tersebut pada sumbu ordinat yang sebelah kiri ke titik-titik pada sumbu ordinat yang sebelah kanan, berupa garis biru.

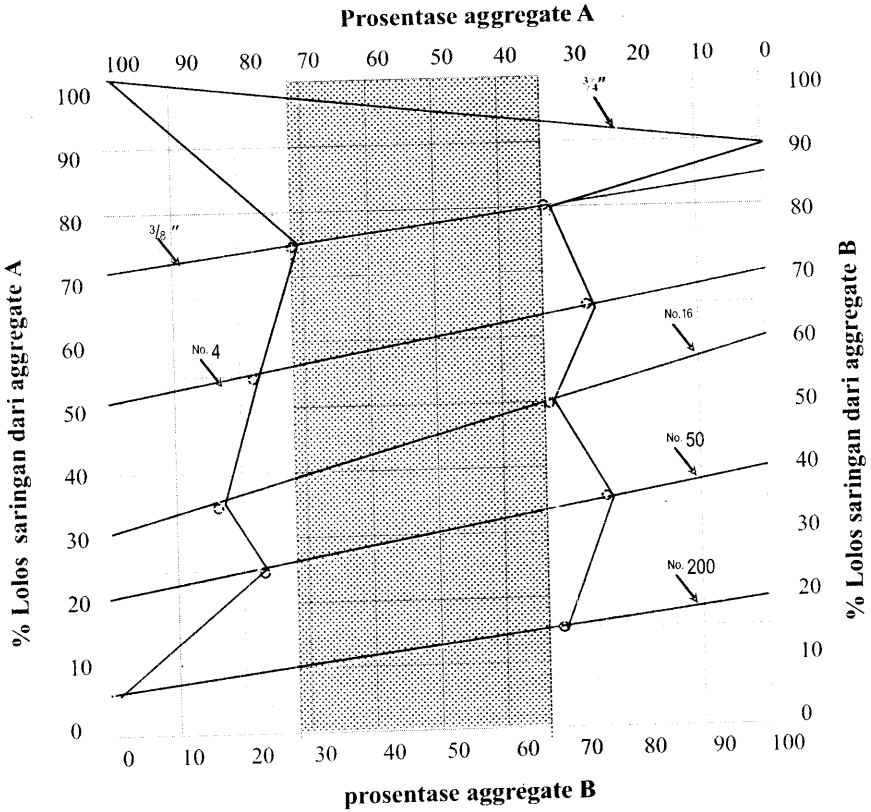
Tabel 5.4. *Tipe Mesin Pemadat dan Jenis Tanah yang Cocok*

Mesin Pemadat	Jenis tanah yang cocok dengan alat pemadat tersebut	*Max effect* pada lapisan tanah longgar, cm	Hasil kepadatan dalam satu lapis	Berat max, ton
Sheep's foot	*Clay, silty clay, gravel* dengan *pengikat clay*	18 - 30	Mendekati seragam	20
Steel tandom two-axle	*Sandy silts, granular material* dengan *clay* sebagai pengikat	10 - 20	Rata-rata*	16
Steel tandom three-axle	Sama seperti di atas	10 - 20	Rata-rata*	20
Steel three-wheel	*Granular or granular-palstik material*	10 - 20	Rata-rata* - seragam	20
Pneumatic small-tire	*Sandy silts, sandy clays, gravely sand dan clays with few fines*	10 - 20	Rata-rata* - seragam	12
Pneumatic large-tire	Semua jenis tanah	? - 60	Seragam	50
Vibratory	*Sand, silty sands, silty gravels.*	8 - 15	Seragam	30
Kombinasi	Semua jenis tanah	8 - 15	Seragam	20

*Kepadatan berkurang dengan semakin dalam
Sumber dari buku *Construction Planning, Equipment, And Methods*, oleh R.L. Peurifoy.

Tabel 5.5. *Analisa saringan dua bahan dan persyaratannya*

Saringan	Lolos Saringan (%)		
	Bahan A	Bahan B	Persyaratan
1 ½"	100	100	100
¾"	100	90	85 - 100
⅜"	70	85	75 - 80
No. 4	50	70	55 - 65
No. 16	30	60	35 - 50
No. 50	20	40	25 - 35
No. 200	5	20	0 - 15



Gambar 5.13. *Cara mengkombinasikan gradasi A dan gradasi B, sehingga memenuhi persyaratan gradasi yang diminta*

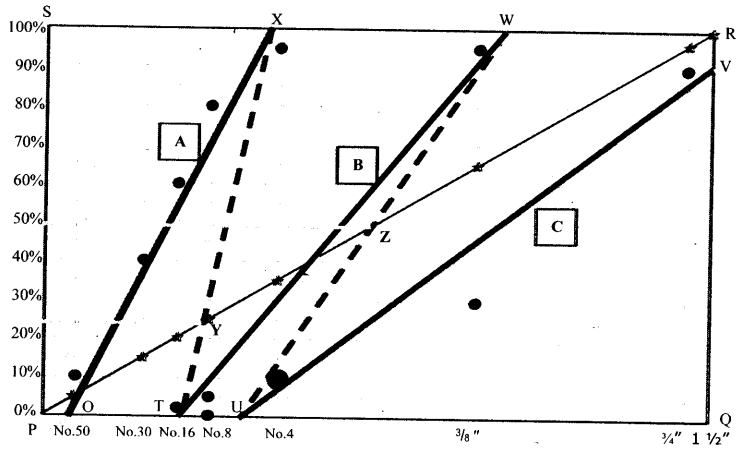
- Plotkan masing-masing titik-titik batas gradasi persyaratan pada garis yang baru dibuat tersebut yang sesuai dengan masing-masing ukuran saringannya. Sebagai contoh dalam gambar 5.13, dengan ukuran saringan ⅜" persyaratan yang lolos adalah 75 - 80%. Jadi plotkan angka 75 dan 80 pada garis dengan ukuran saringan ⅜".
- Hubungkan titik-titik yang baru dibuat tersebut untuk bagian sebelah kiri dan kanan, sehingga menjadi garis patah-patah (warna merah).
- Kita tarik garis vertikal minimal dari prosentase gradasi A dan minimal dari prosentase gradasi B, terjadilah dua garis vertikal berupa garis putus-putus.
- Bidang yang diapit kedua garis vertikal tersebut merupakan bidang yang memenuhi persyaratan jika ditarik garis vertikal di manapun letaknya, di mana pada titik atas merupakan prosentase berat bahan A dan titik bawah merupakan prosentase berat bahan B. Sebagai contoh jika kita memilih 60% berat bahan A maka harus ditambah 40% berat bahan B. Karena kadang-kadang salah satu dari bahan tersebut terlalu mahal, maka bahan tersebut dipilh dengan prosentase yang lebih kecil.

Cara lain jika tersedia tiga jenis bahan yang berlain-lainan, yaitu bahan A, bahan B, dan bahan C, yang harus dikombinasikan sehingga dapat mempunyai gradasi sesuai persyaratan (lihat tabel 5.6). Bahan A,B, dan C berturut-turut pada kolom 2,3, dan 4. dan persyaratannya pada kolom 10. Kolom 9 adalah rata-rata dari batas atas dan batas bawah dari prosentase lolos persyaratan.

Dengan main coba-coba yaitu dengan mengalikan faktor terhadap gradasi dari bahan A,B,dan C, yaitu 30% A, 20% B, dan 50% C, sehingga jika dijumlah akan mendekati angka-angka persyaratan. Setelah dijumlah akan mendapatkan hasil seperti pada kolom 8.

Tabel 5.6. *Kombinasi tiga bahan dengan coba-coba agar masuk dalam persyaratan*

Saringan	Lolos saringan (%)							Persyaratan
	A	B	C	30% A	20% B	50% C	Hasil	Tengah-tengah Persyaratan	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ½"	100	100	100	30	20	50	100	100	100
¾"	100	100	90	30	20	45	95	97	95 - 100
⅜"	100	95	30	30	19	15	64	65	45 - 85
No. 4	95	10	10	28	2	5	35	35	25 - 45
No. 8	80	5	1	24	1	3	25	25	10 - 40
No. 16	60	2	-	18	-	2	18	20	10 - 30
No. 30	40	-	-	12	-	2	12	12	5 - 20
No. 50	10	-	-	3	-	-	3	5	0 - 10
No. 100	3	-	-	1	-	-	1	-	-
No. 200	1	-	-	-	-	-	-	-	-



Gambar 5.14. *Mengkombinasikan tiga jenis bahan secara grafis*

Dari contoh sebelumnya kita akan buat secara grafis dengan cara yang lain dari contoh pertama. Data bahan masih seperti semula, yaitu tersedia bahan A, bahan B, dan bahan C, dengan data gradasi masih seperti di atas. Langkah penyelesaiannya adalah sebagai berikut (gambar 5.14):

- Buat empat persegi panjang PQRS sembarang.
- Garis vertikal sebelah kiri merupakan sumbu ordinat, di mana kita plotkan dengan skala angka-angka prosentase lolos saringan dari 0% sampai dengan 100%
- Tarik garis PR dan plotkan pada garis tersebut angka-angka prosentase lolos saringan yang disyaratkan dalam kolom 9 dari tabel 5.6, dengan cara menarik garis horisontal dari angka-angka prosentase lolos pada sumbu ordinat, sampai memotong garis PR (berupa bintang kuning).

  Kemudian dari titik-titik yang baru dibuat tersebut, ditarik garis vertikal ke bawah sehingga memotong garis PQ, dan titik-titik potong pada garis PQ tersebut merupakan titik-titik yang menyatakan saringan masing-masing. Sebagai contoh lolos saringan No. 4 adalah 35% dari yang disyaratkan, tarik dari angka 35% pada sumbu ordinat sebelah kiri garis horisontal sampai

memotong garis PR, dan dari titik potong ini ditarik garis vertikal ke bawah sampai memotong garis PQ; titik potong pada garis PQ ini diberi nama saringan No. 4.

- Sampai di sini berarti kita telah merubah *curve* gradasi yang disyaratkan menjadi grafik garis lurus, dan dengan skala nomor saringan yang tidak teratur.
- Plotkan titik-titik koordinat dari masing-masing bahan, dengan absis adalah No. saringan dan ordinat adalah prosentase lolos dari masing-masing saringan. Dari titik-titik tersebut dari masing-masing bahan jelas tidak merupakan garis lurus, tetapi kita tetap akan menarik sebagai garis lurus yang pantas untuk mewakili titik-titik tersebut, dengan pilihan yang condong garis curam, sehingga terjadilah garis OX mewakili bahan A, garis TW mewakili bahan B, dan UV mewakili bahan C.
- Tarik garis XT dan garis WU, di mana berturut-turut akan memotong garis PR di titik Y dan titik Z. Titik Y pada prosentase 23%, dan titik Z pada prosentase 48%.
- Jika titik X dari garis OX dipindahkan pada garis PR yaitu pada titik Y, maka PY akan mewakili OX pada garis PR yaitu sebagai bahan A sebesar 23%.
- Jika titik T dan titik W pada garis TW dipindahkan pada garis PR yaitu berturut-turut pada titik Y dan titik Z, maka YZ akan mewakili TW pada garis PR yaitu sebagai bahan B sebesar 25%.
- Dan sisanya adalah garis ZR yang mewakili garis UV pada garis PR yaitu sebagai bahan C sebesar 52%
- Kesimpulan untuk kombinasi campuran adalah sebagai berikut,
  Bahan A diambil 23% berat
  Bahan B diambil 25% berat
  Bahan C diambil 52% berat
- Catatan: harisontalnya mendekati kombinasi dengan cara coba-coba.

5.4.2 Menambahkan kapur/hydrated lime (*lime stabilization*)

Lime stabilization merupakan bahan bangunan yang sudah lama digunakan oleh manusia. Bahan ini kemudian dikembangkan oleh manusia, dengan mencampur *clay* dan kapur, sejak lebih dari 5000 tahun yang lalu. Orang Romawi telah membuat subbase untuk jalan yang distabilkan dengan kapur. Dari hasil percobaannya dengan menambah *clay* dengan sekitar 3 sampai 6% *hydrated lime* (hidrat kapur), akan merupakan dasar yang stabil. Di sini *palstikity index* dari tanah yang mengandung *clay* yang banyak dapat diperkecil dengan menggabungkan *hydrated lime* (hidrat kapur) ke dalam tanah, dengan cara mencampur menggunakan alat *disk harrow* atau *pulverizer machine* (mesin penghancur dan pencampur). Jumlah penambahan hidrat kapur ini perlu dengan percobaan laboratorium, agar sesuai dengan persyaratannya. Bahan kapur untuk stabilisasi ini adalah *calcium hydroxide* $Ca(OH)_2$

5.4.3 Mencampur *asphalt* dengan tanah (*bituminous stabilization*)

Perbaikan sifat-sifat tanah dengan bitumen biasanya dilakukan pada lokasi pekerjaan jalan di mana tidak terdapat *material-base course* yang baik. Atau dapat dikatakan lebih ekonomis dengan menggunakan cara *bituminous stabilization* dibanding harus mengangkut *material base-course* yang baik tetapi sangat jauh. Kondisi ini adalah kondisi di mana tanah setempat merupakan tanah berpasir dan silts, yang dapat langsung dicampur dengan bahan bitumen. Pencampuran adalah dari jenis MC-3 atau RC-3, dicampur dengan *granular soil*, biasanya dalam jumlah 5 - 7% dari volume tanah; dengan campuran ini akan menghasilkan tanah yang cukup stabil.

Kadar air tanah harus rendah pada waktu aspal ditambahkan; dan juga oli dibiarkan menguap dahulu dari bitumen sebelum pemadatan.

Dengan pengerjaan tanah seperti ini dapat digunakan sebagai lapisan *base course* sebelum digelar *hot mix*, atau dapat juga sebagai permukaan jalan (*finished surfaces*) pada jalan kelas rendah dengan kepadatan lalu lintas yang rendah.

Sebagai tambahan, pada dasarnya sebenarnya bahan stabilisasi dapat berupa *asphalt cutback* yaitu merupakan rapid *curing* (RC) dan *mediun curing* (MC), *road oils* yaitu berupa *slow curing* (SC), dan *emulsions* yang berupa *medium setting* (MS) dan *slow setting* (SS); kesemuanya itu baik untuk dicampur dengan tanah untuk stabilisasi. *Cutback liquid asphalts* adalah bahan *asphalt cement* yang ditambah dengan bahan pelarut dengan maksud agar mendapatkan *asphalt* cair yang mudah dikerjakan dengan menggunakan mesin, tanpa harus dipanaskan terlebih dahulu. Setelah bahan ini dicampur dengan tanah, sifatnya akan kembali seperti *asphalt cement*, setelah bahan pelarut menguap semua, dengan melalui *curing* yang baik. Bahan pelarut yang dicampurkan untuk RC adalah bensin, dan bahan pelarut untuk MC adalah minyak tanah. *Asphalts slow-curing* (SC) dihasilkan dengan cara yang sama dengan *asphalt cement*, tetapi proses destilasi diberhentikan lebih awal sehingga masih banyak fraksi minyak lumas tertinggal dalam *asphalt* residu. *Asphalt emulsion* adalah campuran dari *asphalt* dengan air. Ada beberapa keuntungan dengan penggunaan *asphalt* emulsion, yaitu,

- dapat digunakan untuk *aggregate* panas maupun dingin
- dapat digunakan untuk *aggregate* yang kering, lembab, dan basah
- dapat mengeliminir bahaya kebakaran

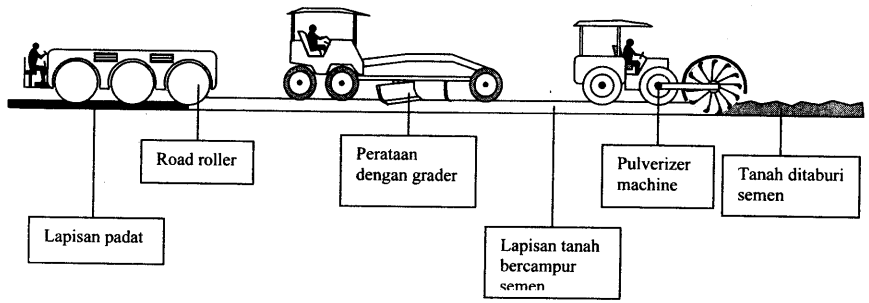
Tetapi ada kerugiannya, yaitu dapat larut karena air hujan. Ada tiga tingkatan pada *asphalt emulsion*, yaitu,

- *rapid setting* (RS)
- *medium setting* (MS)
- *slow setting* (SS)

5.4.4 Mencampur semen dengan tanah (*portland cement stabilization*)

Cement stabilization bertujuan untuk menaikkan kekuatan atau daya dukung tanah. Pencampuran tanah dengan semen adalah tipe perkerasan yang sering digunakan dan dikerjakan langsung di tempat pekerjaan. Cara ini paling efisien pada lokasi yang banyak mengandung *clay* atau *silt*, dan jarang batu-batuan/kerikil. Rasio berat semen terhadap tanah biasanya sekitar 5 - 7%. Kadar lengas optimum dan maksimum kerapatan dari hasil pemadatan campuran tanah dan semen biasanya nilainya mendekati tanah biasa tanpa campuran.

Cara pelaksanaannya adalah dengan menebarkan semen secara merata sepanjang daerah yang akan distabilisasi, kemudian dicampur ke dalam tanah di bawahnya dengan menggunakan *pulverizer-tipe machine* sampai kedalaman tertentu, dan di belakangnya diikuti dengan *grader* untuk membentuk permukaan dan kemudian diikuti dengan alat pemadat (gambar 5.15).



Gambar 5.15. *Metode kerja cement stabilization pada pekerjaan jalan*

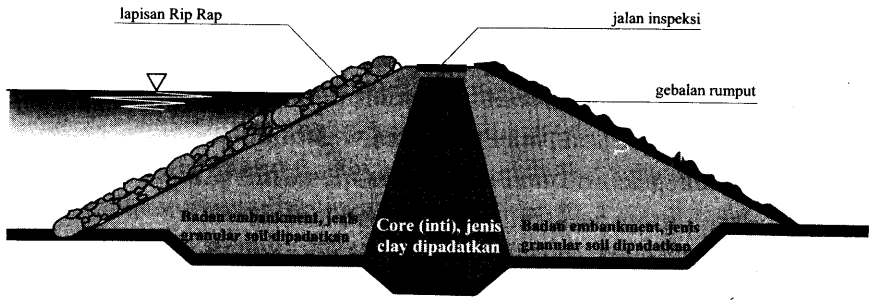
5.4.5 Menambahkan zat-zat kimia tertentu pada tanah

Saat sekarang ada bahan kimia yang dapat membuat tanah berlumpur menjadi keras dan dapat dijadikan tanah dasar yang cukup kuat untuk keperluan bangunan.

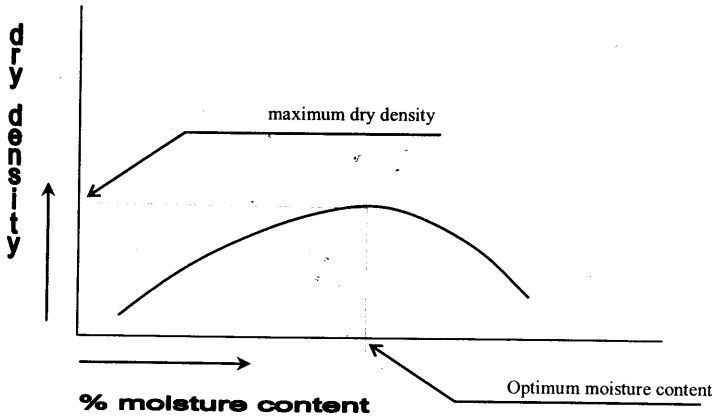
5.4 Pembuatan Tanggul Tanah

Pelaksanaan timbunan dan pemadatan tanah paling banyak pada pekerjaan *levee* atau bendungan tanah. Untuk proyek Bendungan Beton kadang-kadang tidak semua dari beton, tetapi sayap kanan dan kirinya dapat juga dari timbunan tanah. Gambar potongan melintang untuk *levee* atau tanggul dapat dilihat pada gambar 5.16. Pemadatan ini perlu selalu diikuti *crew* dari laboratorium, terutama untuk mengetahui moisture content dari bahan tanah. Tanah granular untuk badan *levee* maupun *clay* untuk *core* dari *levee*, kira-kira tiga hari sebelum pelaksanaan penimbunan dimulai harus sudah diolah ulang dari *stock material* yang sudah jadi, dalam arti agar mempunyai kandungan air sebesar *optimum moisture content*, karena kalau lebih kecil atau lebih besar dari *optimum moisture content*, tidak akan mendapatkan *maksimum density* dari tanah tersebut. Perlu diperhatikan bahwa setiap jenis tanah akan mempunyai *optimum moisture content* yang lain-lain (lihat gambar 5.17). Pengolahannya dengan cara dibolak balik dengan buldoser, agar kelembabannya dapat merata. Atau dapat juga digelar dengan buldoser, setelah merata diaduk dengan *disk harrow* (garu untuk sawah) yang ditarik dengan traktor. Jika kandungan airnya kurang maka perlu diperciki air sambil diaduk-aduk, jika kandungan airnya lebih juga perlu diaduk-aduk sambil diangin-angin di bawah terik matahari. Pada sore hari sebelum selesai operasi stok tanah tersebut harus ditutup dengan plastik atau terpal yang tidak bocor, karena mengurangi kandungan air lebih sulit dari pada menambah kandungan air (lihat gambar 5.3).

Cara pemadatannya harus lapis demi lapis setiap lapis 25 CM *loose material* tergantung jenis tanah, tipe alat pemadatnya, dan berat alat pemadatannya (lihat tabel 5.3 dan 5.4). Sebelum menerapkan pemadatan pada lokasi yang ditentukan, perlu dibuat tes pemadatan dengan panjang ± 100 M, untuk mengetahui dengan jenis alat pemadat yang dipakai tersebut perlu berapa *passes* atau lewatan, agar dapat tercapai minimal 98 % *maksimum density*. Setelah mengetahui jumlah *passes*, maka dapat diterapkan pada pelaksanaan pemadatan di tempat yang ditentukan.



Gambar 5.16. *Potongan melintang levee atau tanggul*



Gambar 5.17. *Hubungan moisture content dengan dry density*

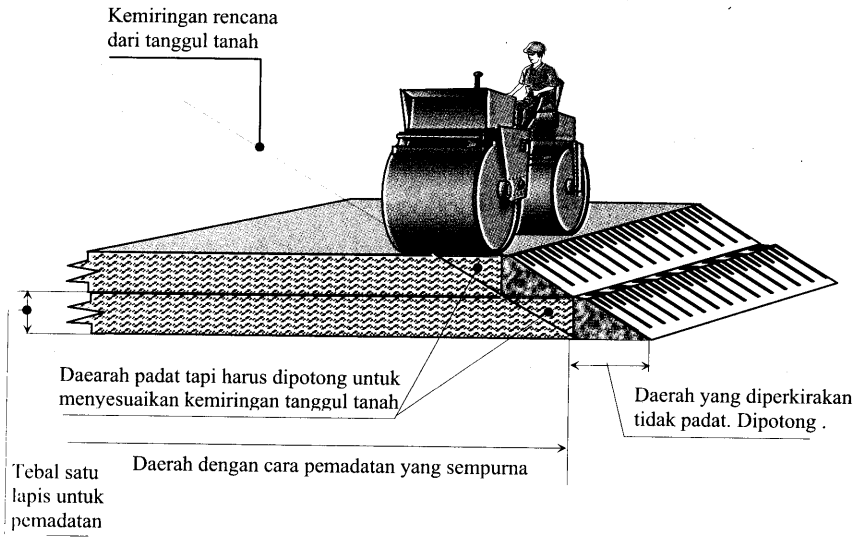
Bahan tanah untuk *core* dari *levee* atau *embankment* adalah berupa tanah yang mengandung banyak lempung atau *clay*. Kadang-kadang dapat mudah didapat pada tanah bekas sawah, setelah bagian atasnya yang mengandung banyak material organik dipotong. Tetapi hal ini perlu diperiksa di laboratorium untuk kebenarannya.

Pengolahan *material clay* ini perlu perhatian khusus karena untuk membuat kandungan air yang sesuai dengan *optimum moisture content* sangat sulit. Kita tahu bahwa air sangat sulit masuk ke dalam kandungan *clay* secara merata, juga sangat sulit untuk mengeluarkan dari material tersebut. Berbeda dengan granular material, air lebih mudah keluar dari tanah tersebut atau masuk ke dalam tanah tersebut. Sehingga lebih baik mempersiapkan (untuk dijadikan *stock material*) bahan *clay* ini dalam waktu 3 - 4 bulan sebelum diperlukan. Lebih-lebih bila bulan tersebut masih musim hujan, ini akan jauh lebih mempersulit pengerjaannya.

Cara pengolahan *clay* sama dengan pengolahan pada tanah biasa, yaitu tanah yang sudah dipotong bagian atasnya yang mengandung bahan organik, dan yang sudah ditentukan tersebut, dapat dikerjakan dengan digaru mesin *disk harrow*, agar material tersebut homogen kandungan airnya. *disk harrow* ini biasanya ditarik dengan traktor. Jika kandungan airnya berlebih, sambil selalu digaru agar airnya dapat menguap, tetapi jika kandungan airnya kurang dapat diperciki dengan air secara merata sambil selalu digaru. Untuk amannya penambahan airnya sedikit demi sedikit kemudian di tes banyaknya kandungan airnya. Tes untuk kandungan air dengan menggunakan alat tes lapangan. Setelah kandungan airnya sesuai dan bahannya sudah homogen, tanah *clay* yang telah diolah tersebut pada kira kira setebal 30 CM dapat dipotong sambil diaduk dengan doser dan dibuat *stock*. *Stock* ini dibuat bentuk gundukan sedemikian rupa sehingga semua permukaannya miring keluar agar jika ada air hujan dapat segera mengalir, dan doser masih dapat naik di atasnya untuk menginjak-injak dengan maksud memadatkannya pada permukaan, agar air tidak mudah menguap atau jika ada air hujan tidak mudah masuk (gambar 5.3). Kemudian *stock material* ini ditutup rapat dengan plastik.

Pada saat akan dipergunakan, maka seperti disebutkan di atas, 3 - 4 hari sebelumnya diolah ulang untuk pengecekan kandungan airnya, perlu ditambah atau dikurangi.

Untuk pembuatan konstruksi tanggul tanah seperti pada gambar 5.16, maka pada badan bagian pinggir perlu dilebihkan ± 50 sampai 80 CM tergantung kemiringan rencana tanggul tanah, setelah selesai pembuatan tanggul kelebihannya tersebut baru dipotong sesuai garis rencananya; hal ini dilaksanakan agar pada bagian pinggir juga mempunyai kepadatan yang sama dengan kepadatan pada bagian tengahnya (gambar 5.18).



Gambar 5.18. *Metode pelaksanaan pemadatan pada bagian tepi dari tanggul tanah. Agar ujung tepi tanggul dari setiap lapis tanah yang dipadatkan dapat mempunyai kepadatan yang sama dengan bagian tengahnya, maka perlu dilebihkan sedikit, di mana kelebihannya tergantung dari kemiringan tanggul. Gambar tanpa skala.*

Kontraktor dalam melaksanakan metode kerja semacam ini, harus sudah memperhitungkan untuk dimasukan dalam menilai harga satuan pembuatan tanggul tanah semacam ini, karena ada kelebihan pekerjaan pemadatan dan kelebihan pekerjaan volume tanah ditebar dan kemudian dipotong pada kanan dan kiri tanggul. Untuk pemadatan tanah seperti ini dilaksanakan baik untuk bagian core/inti maupun untuk bagian badan *embankment*nya. Pekerjaan semacam ini tidak mungkin dihindari, karena masalah metode kerja pelaksanaannya. Dalam hal ini volume tanggul tanah adalah tetap seperti dalam gambar *contract document,* tetapi harga satuannya yang perlu diperhitungkan. Dalam pekerjaan tanah banyak kasus seperti ini, misalnya saja pekerjaan penggalian tanah yang mungkin kita harus membuat *haul road* padahal di dalam gambar tidak ada, tetapi harus ada pekerjaannya untuk mengatasi pekerjaan tersebut, karena kontraktor perlu jalan untuk mengangkut tanah keluar dari lokasi penggalian.

-oo0oo-

6

PEKERJAAN BETON

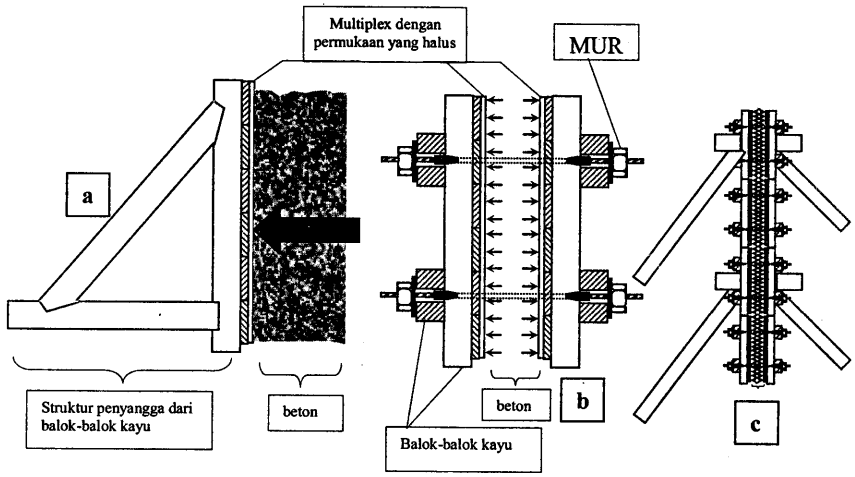
6.1 Pekerjaan Cetakan Beton (*Form work & Shuttering*)

6.1.1 Cetakan Beton untuk Bangunan Rumah Sederhana

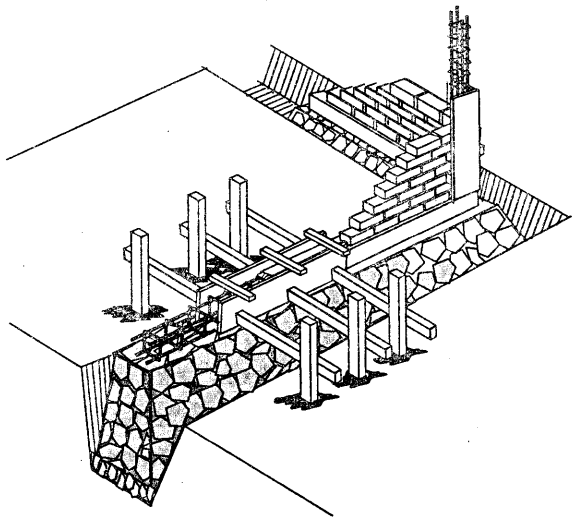
Pekerjaan cetakan beton, yang secara umum para petugas di lapangan menyebut dengan istilah *bekisting*, adalah merupakan pekerjaan sementara, tetapi walaupun merupakan pekerjaan sementara harus kuat untuk menahan tekanan beton yang masih cair, dan juga harus kuat jika terkena injakan para pekerja dan pukulan-pukulan yang tidak disengaja. Harus diyakini juga agar tidak berubah bentuknya selama pekerjaan pengecoran beton sampai beton menjadi keras. Untuk pekerjaan rumah sederhana cetakan beton biasanya terdiri dari bidang alas dan dinding samping saja untuk menahan beton yang masih cair. Cetakan balok beton atau plat beton yang menggantung, beban keseluruhan harus dipikul oleh balok-balok kayu, kemudian beban dari balok-balok kayu tersebut diteruskan ke tiang-tiang penyangga dari perancah atau *scaffolding*. Sedangkan cetakan beton untuk konstruksi beton yang bagian bawahnya langsung didukung oleh tanah dasar, pasangan pondasi batu kali atau pasangan dinding tembok, jika

memungkinkan tidak bocor air semennya, maka bidang alas tidak perlu dipasang papan cetakan, tetapi cukup dipasang dinding cetakan samping. Khusus pada beton untuk konstruksi yang bagian bawahnya langsung didukung tanah, maka bagian bawahnya perlu dipasang lantai kerja berupa plesteran 1 pc : 5 pasir, hal ini dimaksud untuk mendapatkan elevasi dasar beton sesuai rencana, untuk mendapatkan bidang kerja bagi para pekerja agar memudahkan bekerja bagi para pekerja, dan yang paling penting adalah agar air semennya tidak meresap ke dalam tanah. Konstruksi cetakan beton harus dibuat sedemikian rupa sehingga mudah untuk dibongkar. Biasanya bahan untuk *bekisting* adalah dari kayu karena mudah pengerjaannya, tetapi sekarang sudah banyak cetakan beton dari plat besi dan balok-balok besi profil, sehingga lebih efisien karena dapat dipakai terus dengan tidak mengalami kerusakan atau kerusakan relatif sangat kecil, sedangkan dengan menggunakan bahan kayu biasanya dipakai tiga atau empat kali sudah harus diganti cetakan dindingnya. Pekerjaan cetakan beton ini sangat penting, karena selain dapat mempengaruhi kekuatan beton juga dapat mempengaruhi nilai *performance* dari pekerjaan keseluruhan bangunan. Pada prinsipnya cetakan beton terdiri dari papan-papan yang sesuai dengan bentuk struktur yang direncanakan dan struktur balok-balok untuk penyangga papan-papan tersebut agar papan-papan tersebut tidak melendut dan tidak berubah posisi karena terdesak adukan beton. Untuk cetakan beton yang sederhana misalnya *balok-sloof*, balok beton yang kecil dapat dibuat seperti pada gambar 6.1.a. Untuk cetakan beton yang tipis atau untuk dinding beton dapat dibuat seperti pada gambar 6.1.b. Di sini gaya desak dari beton disangga oleh beberapa *form tie*, sehingga untuk mempertahankan berdirinya cetakan untuk beton tipis ini masih perlu penyangga miring lagi, seperti pada gambar 6.1.c. Balok beton *sloof dicor* setelah fondasi yang terletak di bawahnya selesai dikerjakan. Pertama kali dibuat cetakan beton terlebih dahulu. Konstruksi untuk cetakan beton, jika balok *sloof* untuk rumah tinggal biasa, dapat dikerjakan

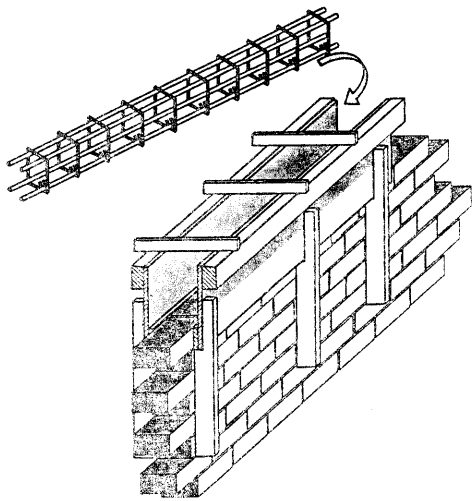
dengan sederhana, yaitu terdiri dari dua papan 2/15 yang dirangkai bagian atasnya dengan papan-papan kecil dengan jarak 50 - 60 CM, sedangkan bagian bawahnya ditahan dengan balok-balok kecil, dan balok-balok kecil ini ditahan oleh tiang-tiang kecil yang dipancang kuat ke dalam tanah (gambar 6.2). Papan-papan cetakan beton harus lurus dengan dipandu oleh tarikan benang. Cetakan beton balok ring, untuk rumah yang sederhana, biasanya setelah pemasangan tembok sudah sampai di posisi dasar balok ring, maka baru dibuat cetakan beton untuk balok ring tersebut. Cetakan beton ini sudah tersangga oleh pasangan batu bata di bawahnya (gambar 6.3). Dan biasanya untuk rumah kecil dan sederhana, lebar dari balok ring sama dengan tebal batu batanya atau dapat juga lebih lebar jika harus menahan beban.



Gambar 6.1.*a. Cetakan beton untuk pembetonan secara umum.*
b. Cetakan beton untuk pembetonan yang tipis, dengan menggunakan form tie. Misalnya untuk pembetonan dinding.
c. Untuk Cetakan beton dinding seperti terlihat pada gambar b, setelah berdiri perlu adanya balok-balok penyangga untuk mempertahankan agar dapat berdiri dengan kuat



Gambar 6.2. *Tampak galian tanah untuk pondasi, dan susunan dari pondasi batu kali, rakitan besi beton untuk sloof, konstruksi cetakan beton untuk sloof, sebagian beton sloof yang telah dicor, sebagian susunan batu bata, rakitan besi beton untuk kolom, konstruksi cetakan beton untuk kolom.*

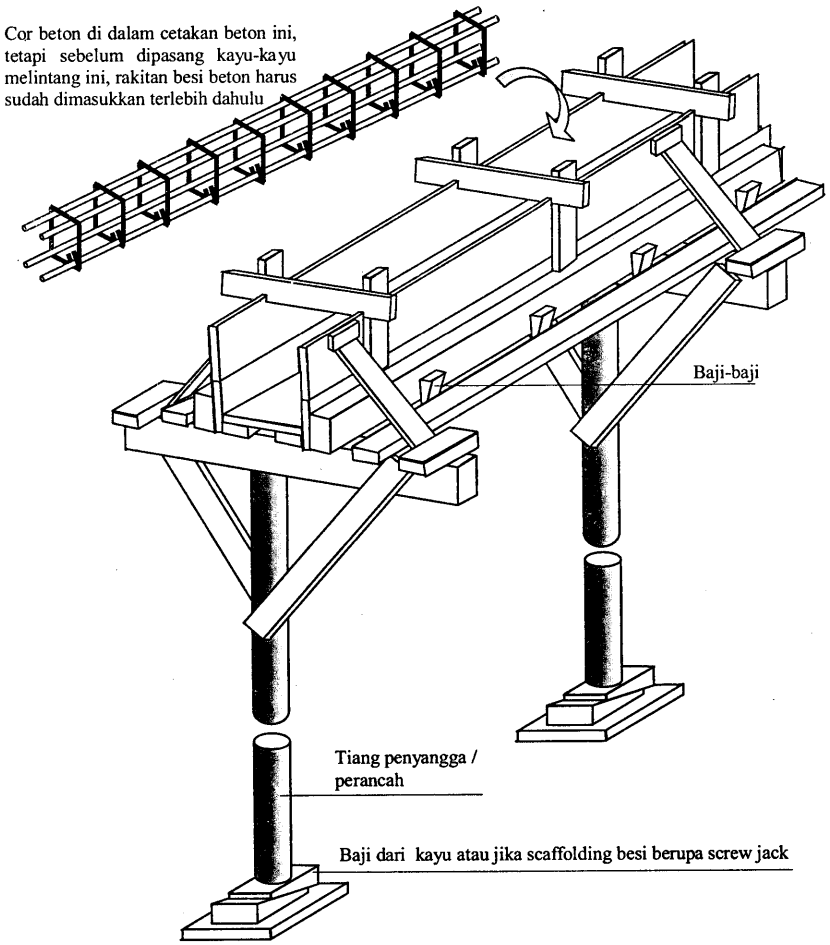


Gambar 6.3. *Pembuatan cetakan beton untuk balok ring; untuk rumah sederhana lebar balok ring dapat sama lebar dengan lebar batu bata, atau dapat lebih lebar jika balok ring tersebut harus menahan beban; rakitan besi dimasukan terlebih dahulu sebelum pemasangan cetakan betonnya, dan besi beton perlu diganjal bagian bawahnya dengan batu tahu, untuk selimut balok beton ring.*

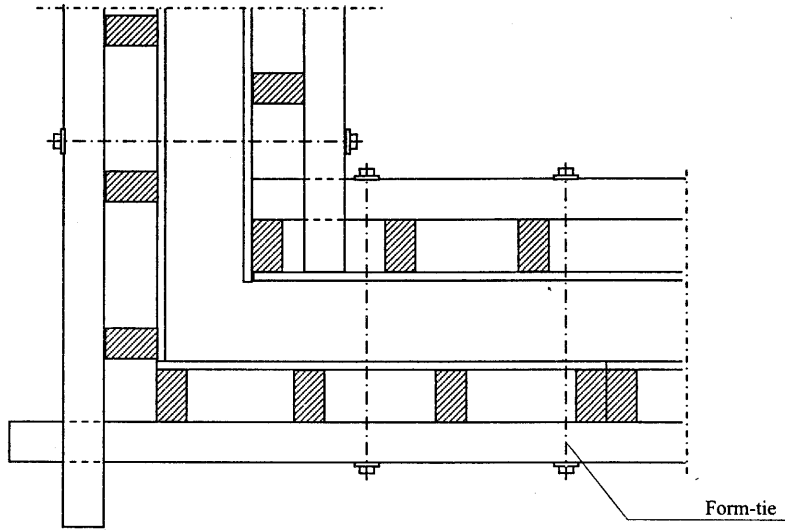
Di atas lubang jendela atau lubang pintu atau lubang yang tidak ada pasangan batanya, harus diberi balok beton untuk menyangga beban pasangan batu bata di atas lubang tersebut. Balok ini disebut balok latai yang ukuran dan pembesiannya sama dengan balok ring. Tetapi jika lubang sangat lebar, lebih dari 2 M, maka harus diperhitungkan kekuatan pembesiannya karena sudah merupakan balok struktur, dan cara pembesiannya juga tidak sederhana seperti balok ring. Di sini perlu ada besi untuk menahan geser yang letaknya dekat dengan perletakannya. Besi untuk menahan geser ini dibengkok 45° dekat perletakan; selain itu untuk menahan geser juga dapat berupa sengkang atau juga biasa disebut *beugel*, yaitu dekat dengan perletakannya besi sengkang jaraknya dibuat lebih rapat dan semakin ketengah semakin jarang. Untuk cetakan beton balok latai agak beda karena perlu penyangga bawah dari cetakan beton tersebut. Pekerjaan balok latai ini adalah merupakan balok struktur yang biasanya merupakan *beton exposed*, artinya jika cetakan beton dibongkar, permukaan beton sudah tidak perlu lagi diadakan perapian. Jadi pekerjaan cetakan betonnya selain harus kuat juga harus dapat dengan mudah untuk diadakan perubahan sedikit agar sesuai benar dengan gambar rencana. Untuk maksud tersebut maka perlu adanya baji-baji dari kayu (gambar 6.4). Sekarang sudah banyak digunakan *scaffolding* dari besi yang lebih mudah pemasangannya, dan sebagai baji-baji adalah dengan menggunakan *screw jack*, seperti mur dan baut yang jika diputar akan berubah panjang sehingga dapat untuk menyesuaikan posisi.

Permukaan cetakan beton harus rapat, hal ini untuk menghindari mengalirnya atau merembesnya air semen keluar dari cetakan beton, yang berakibat beton pada sekeliling dari permukaan cetakan yang bocor tersebut menjadi hanya terdiri dari *aggregate* kasar dan sedikit *aggregate* halus saja, yang biasa disebut beton keropos atau *honey-comb*, karena air semen dan sebagian agregat halus sudah keluar. Keropos ini dapat sampai lebih dalam sehingga su-

dah sampai kelihatan besi betonnya; dengan demikian sudah perlu ada penanganan khusus untuk bagian keropos tersebut.

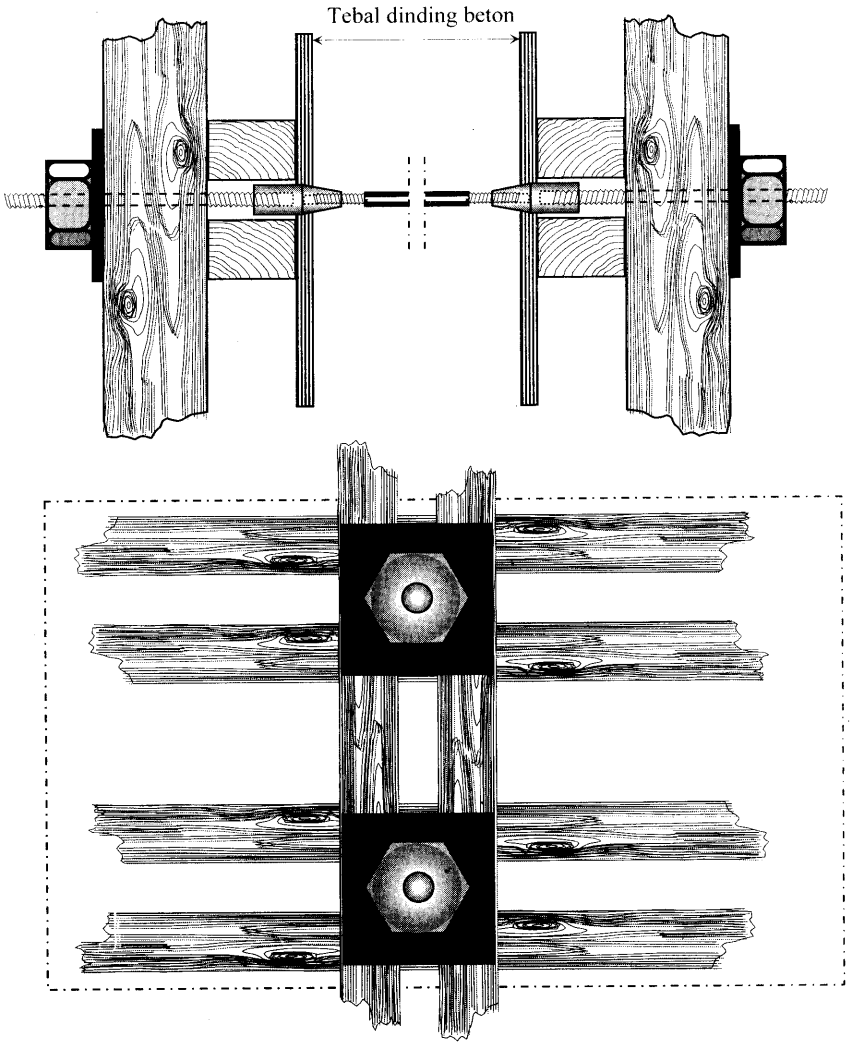


Gambar 6.4. *Pembuatan cetakan beton untuk balok latai; di sini perlu dibuat struktur sedemikian sehingga masih dapat diadakan perubahan-perubahan yang kecil, yaitu dengan baji-baji kayu, hal ini adalah agar beton dapat tercetak tepat ukurannya seperti pada gambar. Jika menggunakan scaffolding dari besi sebagai gantinya baji-baji adalah dengan menggunakan screw jack*



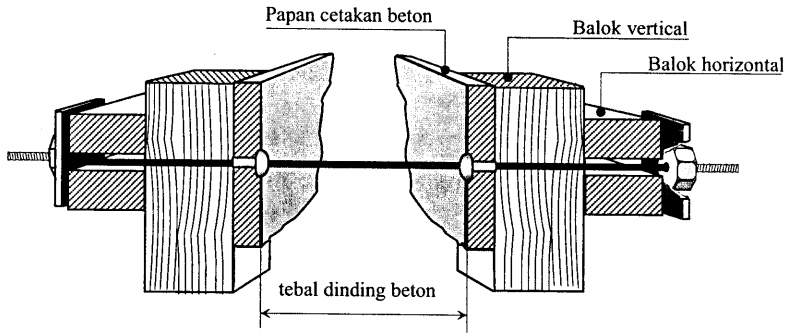
Gambar 6.5. *Cetakan beton pada dinding yang membentuk sudut siku-siku, dengan menggunakan form-tie untuk menahan tekanan ke arah horisontal dari beton cair*

Kembali pada penjelasan di atas, bahwa bidang cetakan harus kokoh dan tidak melendut jika terkena desakan dari beton cair, maka bidang cetakan ini berupa papan (papan kayu atau *multiplex*) yang akan langsung menerima desakan dari beton cair, kemudian gaya dari papan ini dilimpahkan ke balok-balok kayu penahan horisontal, dan gaya dari balok-balok kayu horisontal ini dilimpahkan ke balok-balok kayu vertikal, dan terakhir gaya dari balok-balok kayu vertikal ini akan ditahan oleh batang besi *form ties*. Sudah barang tentu balok-balok vertikal dan horisontal ini dapat berganti posisinya, yang mana harus dipasang terlebih dahulu. Batang besi dari *form ties* ini harus menahan beban dari beton cair (gambar 6.4). Batang besi *form-tie* yang di tengah akan tertinggal di dalam beton dan pada permukaan beton akan meninggalkan lubang-lubang yang terbentuk dari mur *form ties*, yang berbentuk kerucut terpancung.

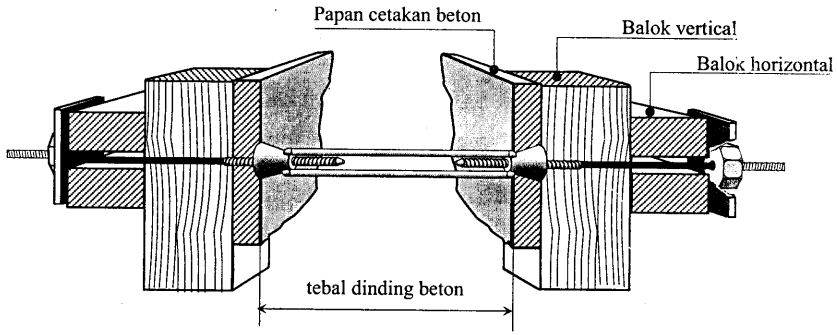


Gambar 6.6. *Form-ties untuk penahan desakan horisontal pada pengecoran beton dinding.*

Jenis dari *form-ties* ini sangat bervariasi. Beberapa jenis lain seperti tampak dalam gambar 6.7 dan 6.8 untuk cetakan pembuatan dinding beton.



Gambar 6.7. *Form ties untuk cetakan dinding beton jenis snap tie*



Gambar 6.8. *Form ties untuk cetakan dinding beton jenis coil tie*

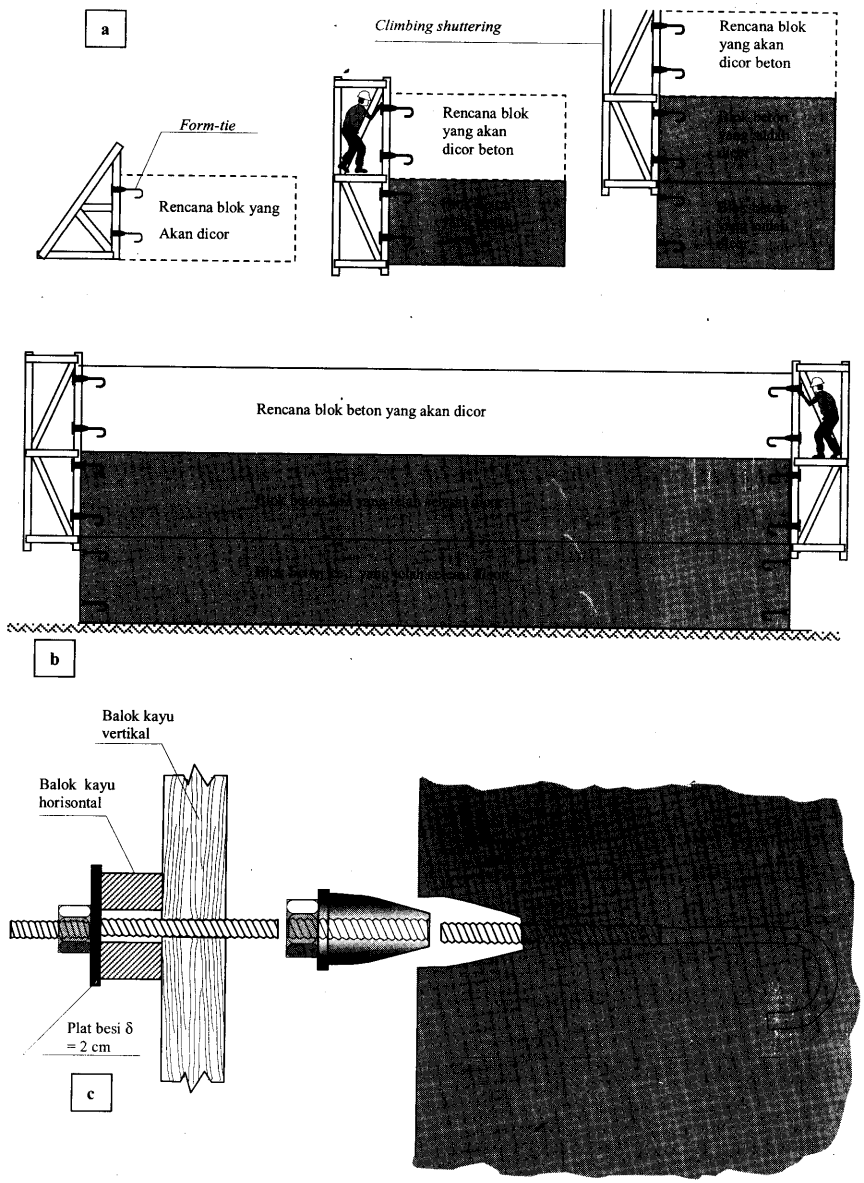
6.1.2 Cetakan Beton untuk Struktur Bangunan dengan skala Besar

Dalam merencanakan cetakan beton, peran perencana bangunan sangat penting, karena harus memperhatikan masalah efisiensi pembuatan cetakan betonnya, yaitu,

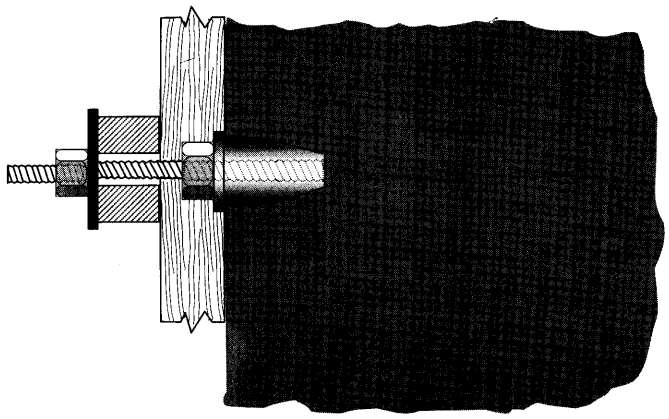
a. Usahakan agar bentuk dari struktur betonnya mempunyai ukuran yang sama. Jadi harus dihindari bentuk-bentuk yang tidak sama (*irregular shapes*). Ukuran-ukuran dan bentuk-bentuk dari komponen-komponen struktur sedapat mungkin berbentuk sedemikian rupa sehingga cetakan beton dapat digunakan ulang untuk pengecoran beton berikutnya.

b. Perlu direncanakan agar bentuk strukturnya dapat menggunakan cetakan beton yang murah, misalnya dapat dengan menggunakan dinding dari plat baja untuk bagian-bagian kolomnya, atau dengan menggunakan *corrugated steel sheet* untuk beton plat lantai. Karena dengan menggunakan cetakan bahan plat baja lebih awet dan dapat digunakan sampai berkali-kali.
c. Diusahakan agar dapat menggunakan cetakan beton dengan metode geser (misalnya *climbing shuttering*) sehingga cetakan betonnya dapat selalu digunakan berulang-ulang.
d. Hubungan atau sambungan konstruksi dari cetakan beton agar dapat digunakan ulang.
e. Jika menggunakan kayu, maka sedapat mungkin menggunakan kayu ukuran standar yang ada dalam perdagangan, sehingga potongan melintangnya tidak perlu lagi dirubah bentuk ukurannya, diserut atau dipertipis.

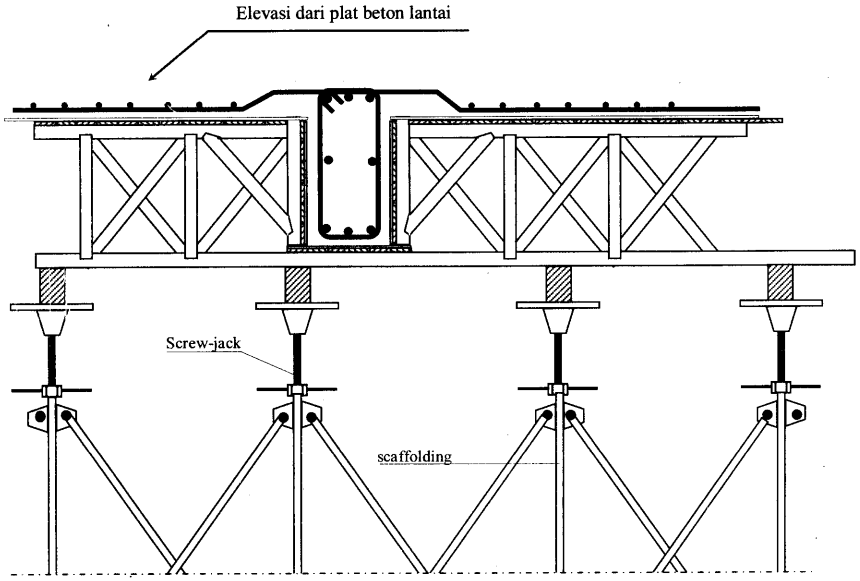
Untuk cetakan beton pada pembetonan massal/*mass concrete* dan blok beton yang sangat tinggi, misalnya dalam kasus pembuatan dam beton, digunakan *climbing shuttering* (gambar 6.9. a, b, & c dan gambar 6.10). Urut-urutan pengecoran adalah seperti tergambar pada gambar 6.9.a. Pada blok beton paling bawah digunakan cetakan beton dengan balok-balok penyangga yang berbentuk segi tiga. Hal ini adalah untuk memasang dua buah *form tie* agar tertanam di dalam blok beton paling dasar. Setelah itu untuk blok beton di atasnya digunakan cetakan beton dengan *climbing shuttering* sedemikian sehingga diikatkan pada dua buah *form tie* pada blok beton dasar. Untuk seterusnya dikerjakan sama yaitu dengan cara mengkaitkan dua buah *form tie* pada blok beton yang di atasnya. Gambar 6.9 menunjukkan cara pengikatan *form tie* antara beton dan balok-balok *climbing shuttering* (lihat juga pada gambar 6.41).



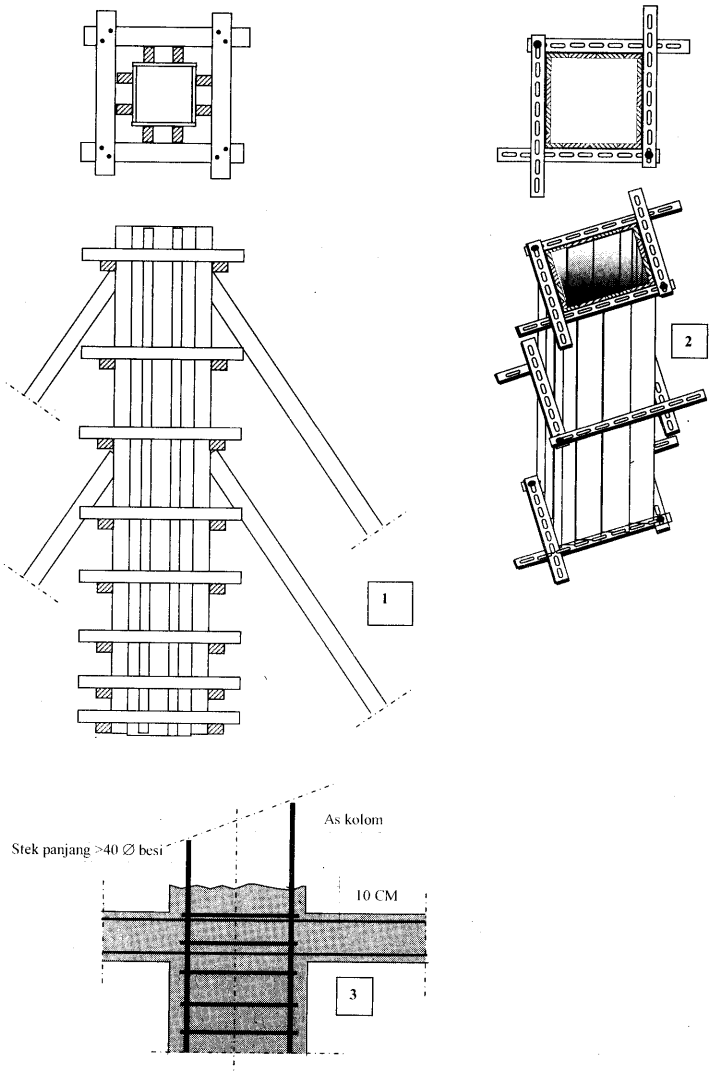
Gambar 6.9. *a, b, & c. adalah metode Climbing shuttering, yaitu cetakan beton dengan perancahnya yang dapat dinaikkan setelah beton bagian bawahnya selesai di cor*



Gambar 6.10. *Bentuk dari form tie, setelah baut dipasang dan dikencangkan sehingga balok kayu vertikal dan horisontal terikat kuat pada beton yang sudah dicor*



Gambar 6.11. *Cetakan beton dan perancah/scaffolding, pada pengecoran balok dan plat lantai*



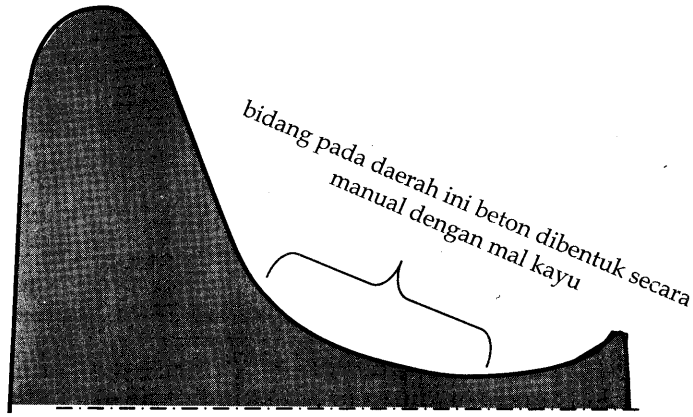
Gambar 6.12. *1.Cetakan beton untuk kolom dari kayu. 2. Cetakan beton untuk kolom dari besi yang dapat dibongkar pasang dan disesuaikan ukuran kolomnya. 3. Pada waktu pengecoran lantai, perlu dibuat kolom setinggi 10 CM untuk pegangan bawah dari cetakan beton kolom di atasnya dan juga untuk patokan posisi kolom.*

Untuk pembuatan cetakan beton pada pengecoran beton balok dan plat lantai, misalnya pada pekerjaan gedung bertingkat, dapat dilihat pada gambar 6.11. Sekarang untuk perancah (*scaffolding*) dari kayu sudah jarang digunakan lagi, kebanyakan menggunakan konstruksi perancah dari besi. Sedangkan untuk papan cetakan beton juga sudah banyak yang menggunakan bahan besi, berupa pelat-pelat besi dan penyangga-penyangganya dari besi profil, yang dapat dengan mudah dibongkar pasang, dan konstruksi dibuat sedemikian rupa sehingga ukuran dapat disetel, terutama ukuran untuk balok dan kolom. Dengan menggunakan *scaffolding* dari besi tersebut waktu untuk pembuatan *form work* dapat lebih singkat dibanding dengan menggunakan perancah dari kayu. Cetakan beton untuk kolom dapat dilihat pada Gambar 6.12 (1, 2 & 3).

Untuk penahan agar cetakan tidak terdesak keluar oleh gaya desak dari beton dibuat pengikat keliling dari cetakan beton tersebut. Pengikat ini semakin ke bawah harus semakin rapat karena gaya desak horisontal dari zat cair beton semakin ke bawah akan semakin besar (gambar 6.12.1), apalagi berat jenis beton cair sangat besar. Sekarang sudah memakai pengikat dari besi yang dapat digeser-geser sehingga sesuai dengan ukuran kolom (gambar 6.12.2), dengan dinding dari papan-papan atau plat besi. Sudah barang tentu di sini juga memerlukan pengikat untuk penahan gaya desak dari zat cair beton, dan juga balok-balok penyangga miring untuk mempertahankan agar kolom tetap berdiri vertikal dan pada posisinya yang benar. Pengikat-pengikat dari besi ini mempunyai klem sehingga dapat mengatur ukuran kolom.

Dalam kasus tertentu kita menjumpai pengecoran beton bentuk akhir yang membuat sudut hampir datar. Kasus ini kita jumpai misalnya pada bentuk *spillway* dari dam beton di mana dekat dengan bagian bawah sangat landai. Untuk bidang yang lengkung tetapi posisinya agak mendatar seperti ini (gambar 6.13), pada

waktu pengecoran tidak dibuat bidang penutup pada cetakan betonnya, tetapi berupa mal kayu agar tukang batu dapat meratakan beton cair yang baru dicor dan mengikuti bentuk dari mal kayu tersebut, kemudian bentuk betonnya dikerjakan secara manual oleh tukang-tukang batu tersebut (gambar 6.13). Bentuk dari mal kayu tersebut harus digambar tepat sesuai dengan garis lengkung dari rencana *spillway*.



Gambar 6.13. *Bentuk dari dam beton bervariasi, ada daerah dengan permukaan tegak, dan ada daerah dengan permukaan yang hampir datar*

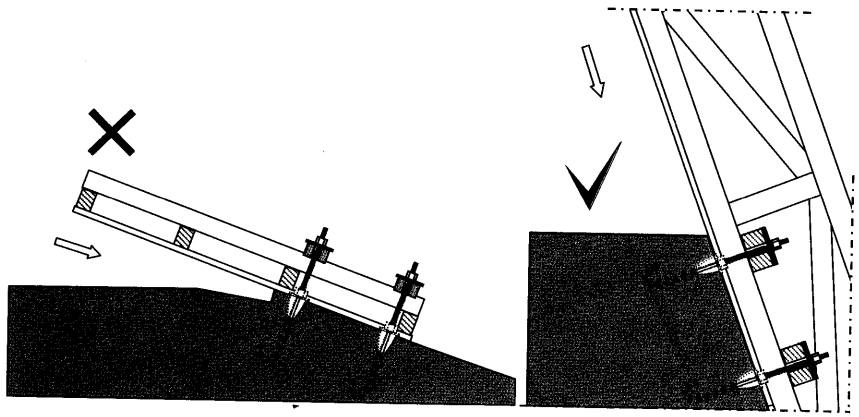
Beton lengkung pada daerah yang agak mendatar terpaksa tidak memakai tutup cetakan beton, karena pada daerah ini jika diberi tutup cetakan beton tidak dapat dipadatkan dengan *concrete vibrator*, sehingga permukaan akan menjadi keropos (gambar 6.14). Pada daerah lengkung yang mendekati bentuk tegak baru dapat dipakai cetakan beton, yaitu pada bentuk yang kira-kira mempunyai sudut 70°.

Perlu diingat bahwa untuk cetakan beton dengan menggunakan permukaan cetakannya dari papan/*multiplex* harus diolesi dengan *shuttering oil* (biasa disebut minyak *bekisting*). Beberapa proyek sering menggunakan fat/gemuk yang dioleskan pada pa-

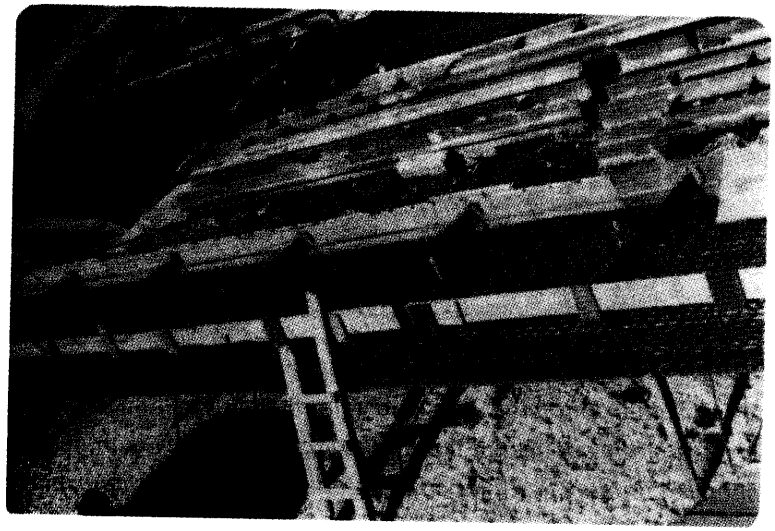
pan/*multiplex*, hal ini tidak dibenarkan, karena beton pada permukaan menjadi kurang kokoh. Sekarang sudah ada *multiplex-film* sehingga tidak perlu menggunakan minyak *bekisting*.

Gambar 6.14. *Bentuk Dam Sampean Baru di Jawa Timur, yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya. Tanda panah adalah daerah di mana pengecoran beton tanpa cetakan, tetapi hanya menggunakan mal kayu.*

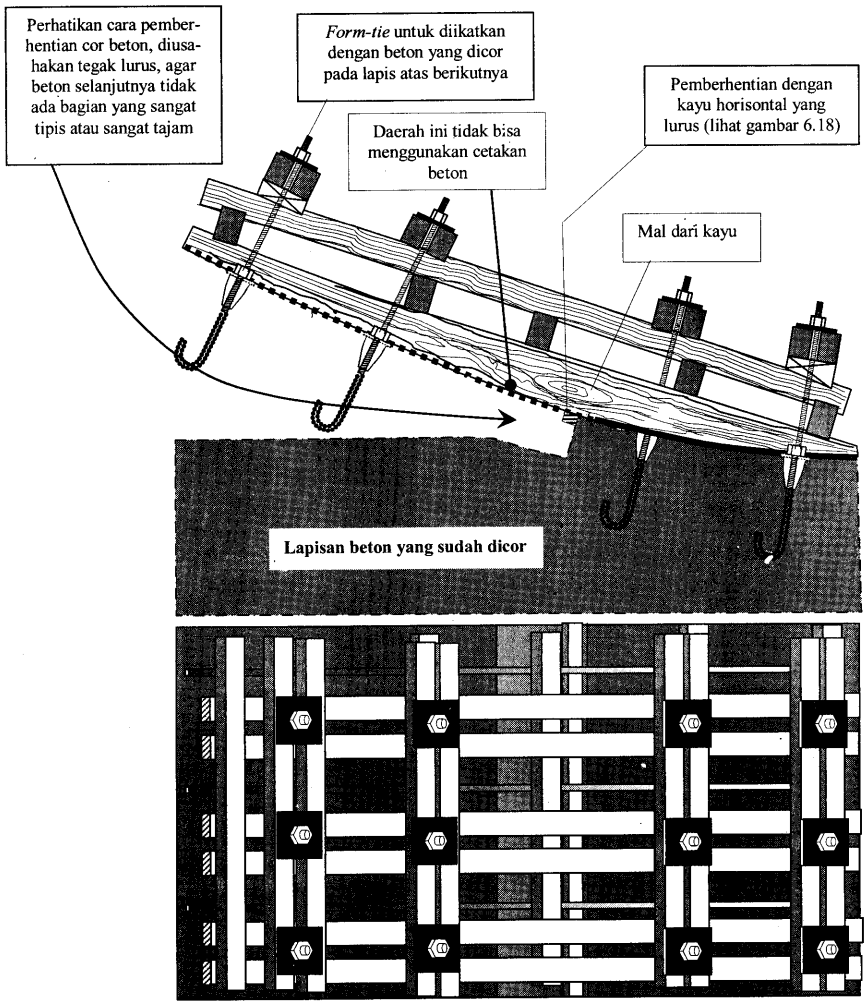
Dengan pengecoran yang tidak sekaligus, tetapi lapis demi lapis atau blok demi blok, pemberhentian tiap lapis harus diusahakan agar blok berikut di atasnya tidak ada bagian dengan bentuk yang tipis. Dengan bentuk yang tipis ini beton menjadi rawan kerusakan. Pemberhentian juga perlu diberi kayu yang lurus dan horisontal, agar pertemuan beton baru dengan beton lama akan tampak merupakan garis lurus (gambar 6.18).



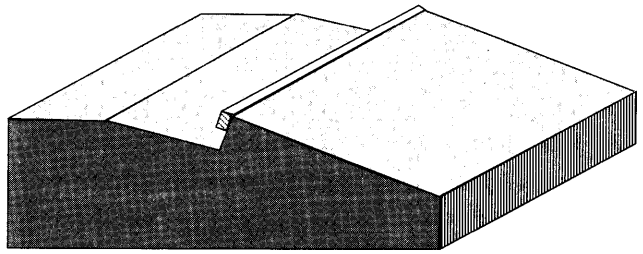
Gambar 6.15. *Dengan kemiringan cetakan beton 20° dan tertutup dengan dinding cetakan, pemadatan beton cair dengan menggunakan concrete vibrator tidak dapat dilaksanakan, jika dipaksakan beton akan menjadi tidak padat atau keropos. Tetapi dengan kemiringan 70° concrete vibrator dapat berfungsi dengan baik*



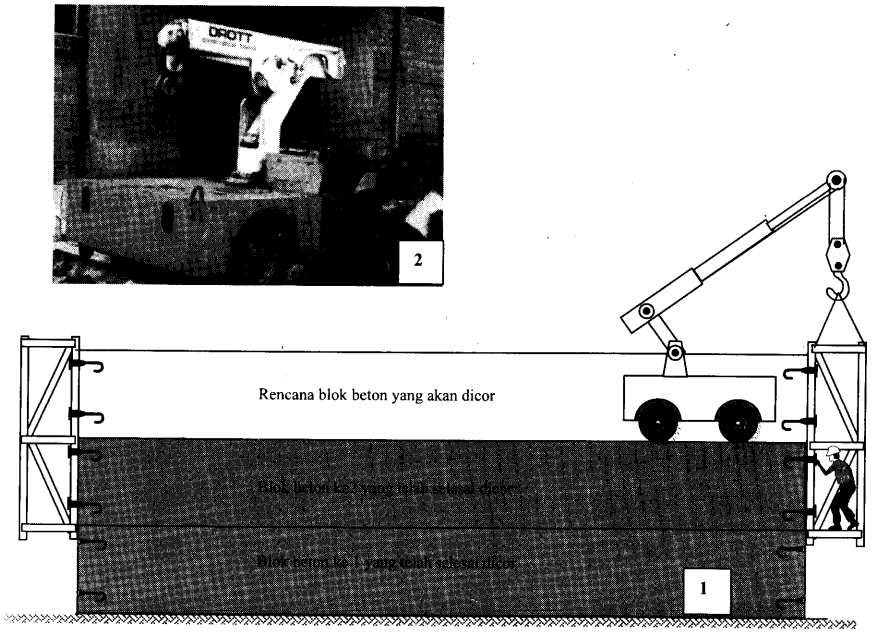
Gambar 6.16. *Pemasangan mal kayu untuk pengecoran beton pada daerah yang landai.*



Gambar 6.17. *Pada pengecoran beton pada daerah agak datar tidak diberi cetakan beton, tetapi cukup dengan mal dari kayu, karena jika diberi tutup cetakan daerah tersebut tidak dapat dipadatkan dengan concrete vibrator. Perlu diperhatikan di sini untuk penambahan pengecoran blok beton berikutnya juga harus dipasang dua baris form-tie, untuk pengikatan mal kayu tersebut pada tahap pengecoran di atasnya (form-tie tidak tergambar)*

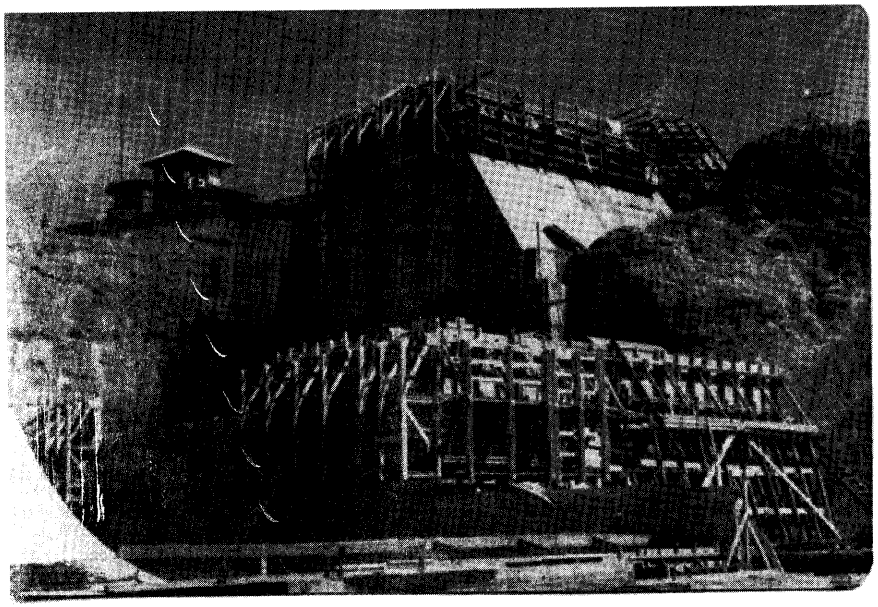


Gambar 6.18. *Pada permukaan beton pemberhentiannya diselesaikan dengan menggunakan kayu lurus agar pertemuan dengan beton baru di atasnya tampak merupakan garis lurus yang rapi.*

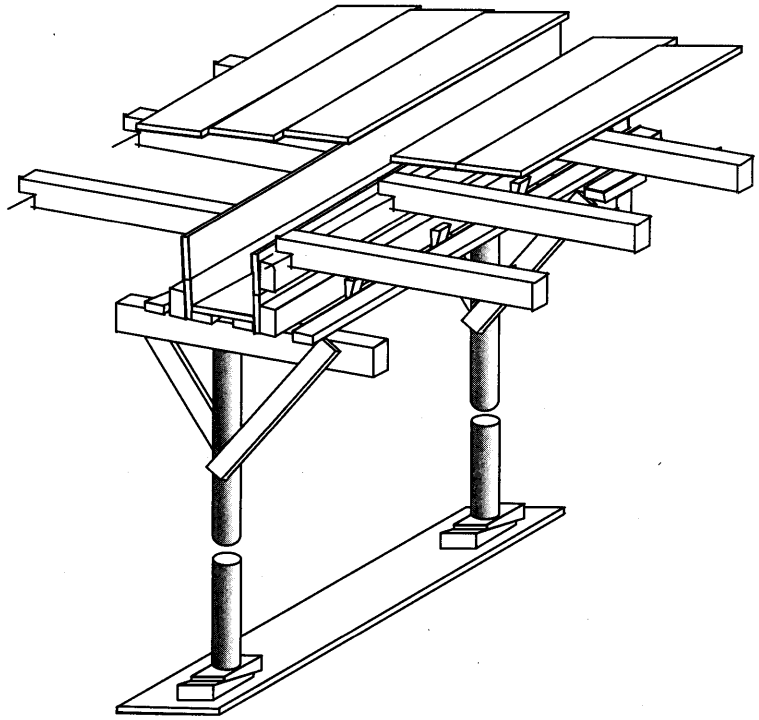


Gambar 6.19.*1. Metode kerja pemasangan perancah climbing shuttering, dengan menggunakan carry-deck-crane. 2. Gambar carry-deck-crane. Menurunkan carry-deck-crane dari blok beton setelah selesai pemasangan climbing shuttering, diangkat dengan tower crane atau dengan cable-way.*

Untuk pemasangan kerangka perancah dari *climbing shuttering* yang sangat berat ini perlu menggunakan alat (gambar 6.19) agar pemasangan dapat cepat. Dalam pemasangan *form-tie* kerangka perancah tersebut harus digantung, untuk memberi kesempatan pekerja memasang *form-tie* dan mengencangkan murnya. Alat ini yang biasa disebut *carry-deck-crane*, cukup kecil tetapi cukup kuat dan lincah beroperasi di atas blok beton yang sudah dicor untuk memasang kerangka perancah tersebut.



Gambar 6.20. *Climbing shuttering terpasang, pada proyek Dam Sampean Baru yang dilaksanakan oleh PT Nindya karya. Tampak ada dua blok/segmen yang siap dicor dengan beton. Lihat juga gambar 3 diagram cara pengecoran beton*



Gambar 6.21. *Contoh sebuah cetakan beton untuk balok dan plat lantai, dengan memakai perancah dari kayu. Saat sekarang perancah sudah menggunakan scaffolding dari besi (bandingkan dengan gambar 6.11)*

6.2 Gaya Horisontal yang Diterima oleh Cetakan Beton Akibat dari Pengecoran Beton

Perencanaan pembuatan cetakan beton harus memperhitungkan kekuatan dari struktur cetakan beton tersebut akibat gaya yang timbul dari beton cair yang masuk ke dalam cetakan tersebut. Jika beton cair masuk ke dalam cetakan beton akan memberikan tekanan ke arah horisontal pada permukaan dinding cetakan dan besarnya secara proporsional tergantung dari berat jenis beton, tinggi atau kedalaman dari cairan beton di dalam cetakan tersebut, kecepat-

an pengecoran dan temperatur dari beton cair. Jika beton mulai mengeras, akan berubah dari cair menjadi padat, dan tekanan pada cetakan akan berkurang. Waktu yang diperlukan oleh beton menjadi keras sangat bervariasi tergantung dari suhu, semakin panas akan semakin cepat mengeras. Oleh karena itu tekanan maksimum yang diberikan pada cetakan beton bergantung langsung dengan kecepatan pengisian pada cetakan tetapi kebalikannya dengan temperatur dari beton tersebut. The American Concrete Institute telah membuat rumus untuk mendapatkan tekanan maksimum dengan menggunakan alat pemadat *concrete vibrator* di dalam adukan beton, seperti pada rumus 21-1, 21-2, dan 21-3 dalam buku oleh *Peurifoy* dengan judul *Construction Planning, Equipment, and Methods.* Tetapi akan kita coba untuk dijadikan dengan satuan yang lain seperti pada tabel 6.1 dan 6.2, di mana kecepatan pengecoran arah vertikal V.CM/jam, tekanan maksimum pada dinding P.KG/M2, dan temperatur dari adukan beton T.°C. Tabel 6.1 untuk mendapatkan tekanan maksimum untuk pengecoran beton pada dinding, sedangkan tabel 6.2 untuk pengecoran beton pada kolom.

Dari gambar 6.27 dan 6.23 dapat juga didapatkan rumus-rumus sebagai berikut,

Untuk pengecoran dinding dan dengan kecepatan pengisian beton kurang dari 213,3607 CM/jam:

P = 732,3615 + (35,1623 x V) untuk temperatur beton 5°C
P = 732,3615 + (28,8331 x V) untuk temperatur beton 10°C
P = 732,3615 + (24,4348 x V) untuk temperatur beton 15°C
P = 732,3615 + (21,2008 x V) untuk temperatur beton 20°C
P = 732,3615 + (18,7228 x V) untuk temperatur beton 25°C
P = 732,3615 + (16,7634 x V) untuk temperatur beton 30°C
P = 732,3615 + (15,1753 x V) untuk temperatur beton 35°C
P = 732,3615 + (13,8621 x V) untuk temperatur beton 40°C

Tabel 6.1. *Hubungan antara kecepatan pengisian beton, tekanan maksimum dan temperatur pada pengecoran beton untuk dinding*

Kecepatan pengisian beton ke arah vertikal, CM/Jam	Tekanan beton maksimum, KG/M²								
	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
0	732,36	732,36	732,36	732,36	732,36	732,36	732,36	732,36
30	1787,28	1597,40	1465,44	1368,42	1294,07	1235,29	1187,64	1148,24
60	2842,10	2462,35	2198,45	2004,41	1855,73	1738,17	1642,88	1564,09
90	3897,02	3327,38	2931,53	2640,47	2417,44	2241,09	2098,16	1979,97
120	4951,84	4192,33	3664,54	3276,46	2979,09	2743,97	2553,40	2395,81
150	6006,65	5057,28	4397,55	3912,45	3540,75	3246,85	3008,63	2811,65
180	7061,57	5922,31	5130,63	4548,50	4102,46	3749,78	3463,92	3227,53
210	8116,39	6787,26	5863,63	5184,50	4664,12	4252,65	3919,15	3643,37
240	8526,02	7123,16	6148,30	5431,48	4882,23	4447,94	4095,94	3804,86
270	8854,19	7392,26	6376,34	5629,34	5056,97	4604,39	4237,57	3934,24
300	9182,38	7661,38	6604,41	5827,23	5231,72	4760,86	4379,21	4063,62
450		9006,91	7744,69	6816,59	6105,45	5543,15	5087,39	4710,51
600			8884,99	7805,97	6979,18	6325,45	5795,58	5357,41

Nilai-nilai dalam tabel ini terbatas hanya sampai 9764.82 KG/M².
Sumber dari Peurifoy dengan judul *Construction Planning, Equipment, and Methods*

Badan ... dan ...

Tabel 6.2. *Hubungan antara kecepatan pengisian beton, tekanan maksimum dan temperatur pada pengecoran beton untuk kolom*

Kecepatan pengisian beton ke arah vertikal, CM/Jam	Tekanan beton maksimum, KG/M²							
	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
0	732,36	732,36	732,36	732,36	732,36	732,36	732,36	732,36
30	1787,28	1597,40	1465,44	1368,42	1294,07	1235,29	1187,64	1148,24
60	2842,10	2462,35	2198,45	2004,41	1855,73	1738,17	1642,88	1564,09
90	3897,02	3327,38	2931,53	2640,47	2417,44	2241,09	2098,16	1979,97
120	4951,84	4192,33	3664,54	3276,46	2979,09	2743,97	2553,40	2395,81
150	6006,65	5057,28	4397,55	3912,45	3540,75	3246,85	3008,63	2811,65
180	7061,57	5922,31	5130,63	4548,50	4102,46	3749,78	3463,92	3227,53
210	8116,39	6787,26	5863,63	5184,50	4664,12	4252,65	3919,15	3643,37
240	9171,31	7652,30	6596,72	5820,55	5225,83	4755,58	4374,43	4059,25
270	10226,12	8517,25	7329,72	6456,54	5787,48	5258,46	4829,67	4475,10
300	11281,05	9382,28	8062,80	7092,60	6349,19	5761,39	5284,95	4890,98
360	13390,78	11112,27	9528,89	8364,65	7472,56	6767,19	6195,47	5722,70
450	[illegible]	13707,20	11727,99	10272,68	9157,58	8275,87	7561,22	6970,27
600	[illegible]	[illegible]	15393,25	13452,84	11966,03	10790,41	9837,54	9049,59

Nilai-nilai dalam tabel ini terbatas hanya sampai 14647,23 KG/M².
Sumber dari Peurifoy dengan judul *Construction Planning, Equipment, and Methods*

Untuk pengecoran dinding dan dengan kecepatan pengisian beton lebih dari 213,3607 CM/jam:

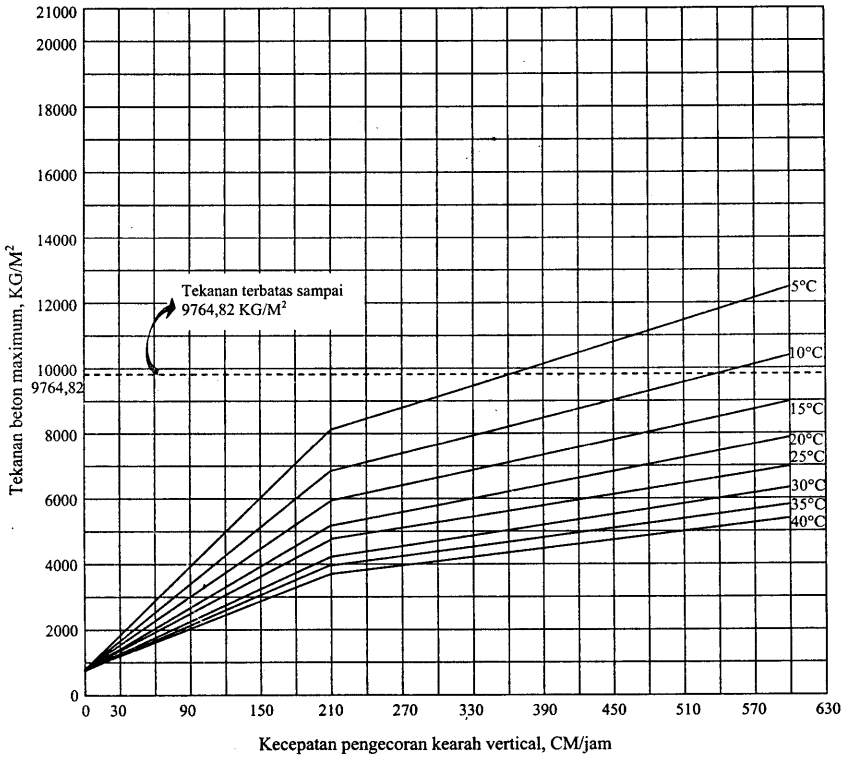
P = 5900,5667 + (10,9394 x V) untuk temperatur beton 5°C
P = 4970,2867 + (8,9703 x V) untuk temperatur beton 10°C
P = 4323,8400 + (7,6019 x V) untuk temperatur beton 15°C
P = 3848,4867 + (6,5958 x V) untuk temperatur beton 20°C
P = 3484,2633 + (5,8249 x V) untuk temperatur beton 25°C
P = 3196,2667 + (5,2153 x V) untuk temperatur beton 30°C
P = 2962,8467 + (4,7212 x V) untuk temperatur beton 35°C
P = 2769,8267 + (4,3126 x V) untuk temperatur beton 40°C

(Catatan: tekanan maksimum untuk rumus ini terbatas sampai 9764,82 KG/M².)

Untuk kolom:

P = 732,3615 + (35,1623 x V) untuk temperatur beton 5°C
P = 732,3615 + (28,8331 x V) untuk temperatur beton 10°C
P = 732,3615 + (24,4348 x V) untuk temperatur beton 15°C
P = 732,3615 + (21,2008 x V) untuk temperatur beton 20°C
P = 732,3615 + (18,7228 x V) untuk temperatur beton 25°C
P = 732,3615 + (16,7634 x V) untuk temperatur beton 30°C
P = 732,3615 + (15,1753 x V) untuk temperatur beton 35°C
P = 732,3615 + (13,8621 x V) untuk temperatur beton 40°C

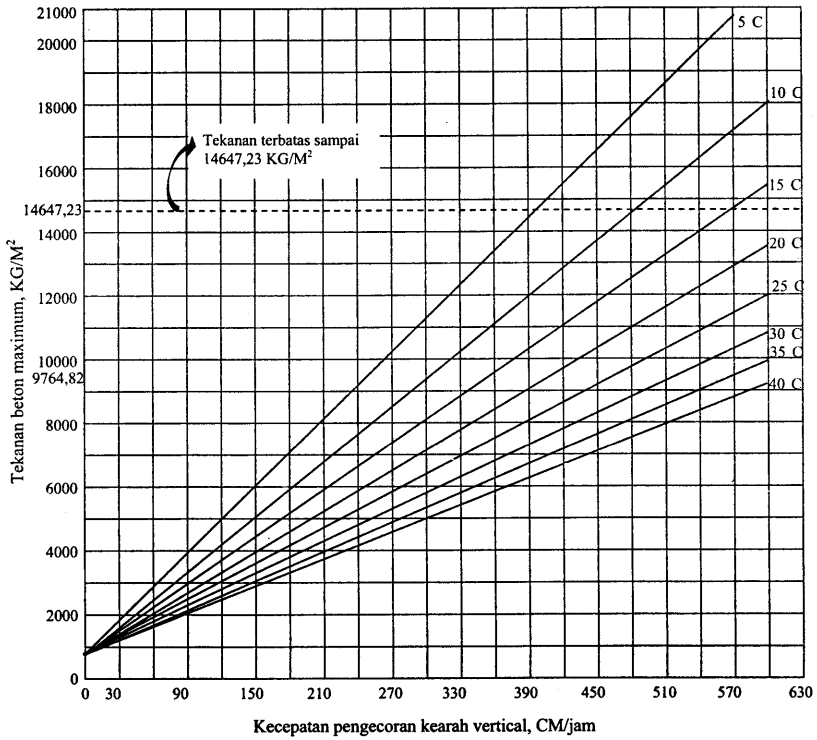
(Catatan: tekanan maksimum untuk rumus ini terbatas sampai 14647,23 KG/M².)



Gambar 6.22. *Hubungan antara kecepatan pengisian beton, tekanan maksimum dan temperatur pada pengecoran beton untuk dinding*

6.3 Mencari dimensi kayu

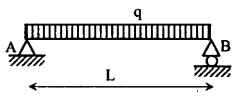
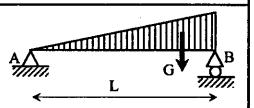
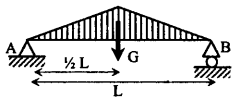
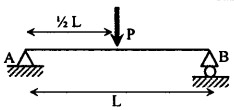
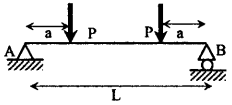
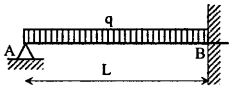
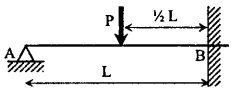
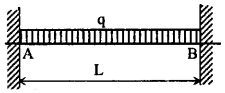
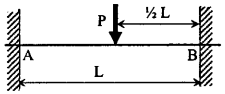
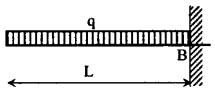
Seperti sudah dijelaskan di atas, bahwa cetakan beton harus kuat untuk menahan tekanan beton cair, sehingga mampu menahan desakan, lentur dan lendutan. Khusus untuk kayu perlu diperhatikan, bahwa ada kemungkinan dalam perhitungan sudah kuat menahan lentur, tetapi syarat lendutan dilampaui. Sehingga perhitungan perlu diulang untuk memenuhi syarat lendutan. Karena dengan kayu melendut beton akan berubah bentuk.



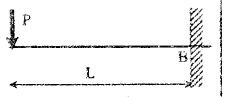
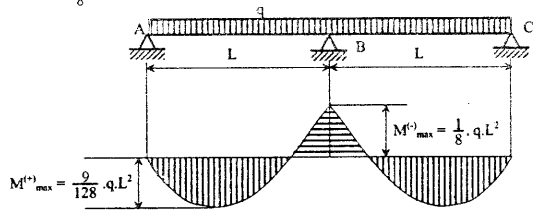
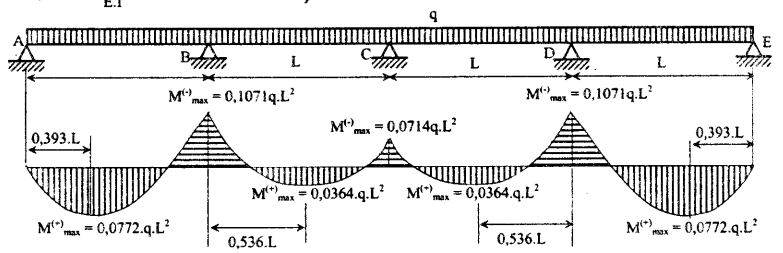
Gambar 6.23. *Hubungan antara kecepatan pengisian beton, tekanan maksimum dan temperatur pada pengecoran beton untuk kolom*

Secara sederhana, kayu dengan bentuk empat persegi panjang, dengan ukuran lebar balok b CM dan tinggi balok h CM, maka untuk dapat menahan lentur h = $\sqrt{\frac{6.M}{b.\bar{\sigma}_{lt}}}$. Dalam suatu struktur biasanya tebal kayu b sudah ditentukan sehingga h dapat dicari. Sampai di sini kayu sudah dapat menahan terhadap lentur. Tetapi masih ada persyaratan bahwa lendutan balok kayu tidak boleh melebihi suatu batas tertentu. Dalam beberapa hal batasan lendutan dapat dilihat dalam SNI Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia, bab 15.3 Batasan Lendutan. Untuk mencari lendutan maksimum (f_{max}) yang terjadi karena gaya dari luar dapat dilihat dalam tabel 6.3.

Tabel 6.3. *Lendutan Maksimum dan Momen Maksimum*

$f_{max} = \frac{5}{384}.\frac{q.L^4}{E.I}$ $Mmax = \frac{1}{8}.q.L^2$	Pada jarak ½ L dari A Pada jarak½ L dari A	
$f_{max} = 0{,}01304.\frac{G.L^3}{E.I}$ $Mmax = 0{,}1283.G.L$	Pada jarak 0, 5193.L dari A Pada jarak 0,5774.L dari A	
$f_{max} = \frac{1}{60}.\frac{G.L^3}{E.I}$ $Mmax = \frac{1}{6}.G.L$	Pada jarak ½ L dari A Pada jarak ½ L dari A	
$f_{max} = \frac{1}{48}.\frac{P.L^3}{E.I}$ $Mmax = \frac{1}{4}.P.L$	Pada jarak ½ L dari A Pada jarak ½ L dari A	
$f_{max} = \frac{1}{24}.\frac{P.a}{E.I}.(3.L^2 - 4.a^2)$ $M_{max} = P.a$	Pada jarak ½ L dari A Pada jarak ½ L dari A	
$f_{max} = \frac{1}{185}.\frac{q.L^4}{E.I}$ $M^{(-)}_{max} = \frac{1}{8}.q.L^2$ $M^{(+)}_{max} = \frac{9}{128}.q.L^2$	Pada jarak 0,4215 L dari A Pada titik B Pada $\frac{3}{8}$.L dari A	
$f_{max} = 0{,}09317.\frac{P.L^3}{E.I}$ $M^{(-)}_{max} = \frac{3}{16}.P.L$ $M^{(+)}_{max} = \frac{5}{32}.P.L$	Pada jarak 0,4472.L dari A Pada titik B Pada jarak ½ L dari A	
$f_{max} = \frac{1}{384}.\frac{q.L^4}{E.I}$ $M^{(-)}_{max} = \frac{1}{12}.q.L^2$ $M^{(+)}_{max} = \frac{1}{24}.q.L^2$	Pada jarak ½ L dari A Pada perletakan jepit Pada jarak ½ L dari A	
$f_{max} = \frac{1}{192}.\frac{P.L^3}{E.I}$ $M^{(-)}_{max} = M^{(+)}_{max} = \frac{1}{8}.P.L$	Pada jarak ½ L dari A Pada jarak ½ L dari A dan perletakan jepit.	
$f_{max} = \frac{1}{8}.\frac{q.L^4}{E.I}$ $M^{(-)}_{max} = ½.q.L^2$	Pada ujung bebas Pada titik B	

Tabel 6.3 *(lanjutan)*

$f_{max} = \frac{1}{3}.\frac{P.L^3}{E.I}$	Pada ujung bebas	
$Mmax = P.L$	Pada perletakan jepit	
$f_{max} = \frac{1}{185}.\frac{q.L^4}{E.I}$ $M^{(-)}_{max} = \frac{1}{8}.q.L^2$ $M^{(+)}_{max} = \frac{9}{128}.q.L^2$	Pada jarak 0,4215.L dari A dan dari C Pada titik B Pada $\frac{3}{8}$.L dari A dan dari C	
$f_{max} = 0{,}0065.\frac{q.L^4}{E.I}$	Pada jarak 0,440.L dari A dan dari E	

Untuk mencari dimensi ukuran balok kayu secara teoritis yang paling efisien dapat dicapai dengan penedekatan beberapa ketentuan, yaitu

- Balok kayu dengan penampang empat persegi panjang, dengan ukuran b x h
- Beban menggunakan beban terbagi rata q, termasuk berat sendiri dari bahan kayu
- Kayu menggunakan kayu kelas kuat II, dengan $\bar{\sigma}_{lt}$ = 100 KG/CM² ;
- Kayu kelas II dengan modulus elastisitas E = 10^5 KG/CM²

- Lendutan maksimum yang diperkenankan, $f_{max} = \frac{1}{400}.L$ atau $f_{max} = \frac{1}{300}.L$ tergantung spesifikasi yang diminta.
- Balok dianggap terletak di atas dua perletakan engsel - engsel.
- Struktur dianggap terlindung, dan beban dianggap beban yang permanen.

Dengan ketentuan tersebut ada keterkaitannya, yang dijabarkan secara teoritis, sebagai berikut

$$\left.\begin{array}{l}\bar{\sigma}_{lt} = \frac{M}{W} \\ M = \frac{1}{8}.q.L^2 \\ W = \frac{1}{6}.b.h^2\end{array}\right\} \bar{\sigma}_{lt} = \frac{1/8.q.L^2}{1/6.b.h^2} \rightarrow q = \frac{4}{3}.\frac{\bar{\sigma}_{lt}.b.h^2}{L^2}$$

$$\left.\begin{array}{l}f_{max} = \frac{5}{384}.\frac{q.L^4}{E.I} \\ q = \frac{4}{3}.\frac{\bar{\sigma}_{lt}.b.h^2}{L^2} \\ I = \frac{1}{12}.b.h^3\end{array}\right\} f_{max} = \frac{5}{384}.\frac{4}{3}.\frac{\bar{\sigma}_{lt}.b.h^2}{L^2}.\frac{L^4}{E.\frac{1}{12}.b.h^3} \rightarrow \frac{L}{h} = \frac{1152}{240}.\frac{E}{\bar{\sigma}_{lt}}.\frac{f_{max}}{L}$$

Dengan ketentuan seperti di atas, bahwa $\bar{\sigma}_{lt} = 100$ KG/CM^2 dan E = 105 KG/CM^2, dan jika spesifikasi menghendaki f_{max} yang diijinkan adalah = $\frac{1}{400}.L$, maka didapat

$$\frac{L}{h} = \frac{1152}{240}.\frac{10^5}{10^2}.\frac{\frac{1}{400}.L}{L} \rightarrow \frac{L}{h} = 12$$

Kemudian jika spesifikasi menghendaki f_{max} yang diijinkan adalah = $\frac{1}{300}.L$, maka dengan jalan yang sama akan didapat $\frac{L}{h} = 16$.

Ini artinya adalah untuk balok lentur dengan ketentuan seperti di atas dengan f_{max} yang diijinkan adalah = $\frac{1}{400}.L$, maka jika $\frac{L}{h}$ = 12, balok tersebut akan mengalami tegangan lentur yang terjadi = $\bar{\sigma}_{lt} = 100$ KG/CM^2; dan balok tersebut akan mengalami lendutan yang terjadi adalah = f_{max} yang diijinkan = $\frac{1}{400}.L$. Hal ini secara teoritis akan sangat efisien sekali.

Demikian pula jika balok lentur dengan ketentuan seperti di atas dengan f_{max} yang diijinkan adalah = $\frac{1}{300}.L$, maka jika $\frac{L}{h} = 16$, balok tersebut akan mengalami tegangan lentur yang terjadi = $\bar{\sigma}_{lt}$ = 100 KG/CM^2; dan balok tersebut akan mengalami lendutan yang terjadi adalah = f_{max} yang diijinkan = $\frac{1}{300}.L$. Hal ini secara teoritis akan sangat efisien sekali.

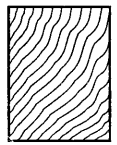
Untuk mencari lebar balok b dapat dijabarkan sebagai berikut,

$f_{max} = \frac{1}{400}.L = \frac{5}{384}.\frac{q.L^4}{E.I}$ atau momen inersia balok agar mempunyai lendutan $\frac{1}{400}.L$ adalah, $I = \frac{5}{384}.400.\frac{q.L^3}{E} \rightarrow I = \frac{5,21}{10^5}.q.L^3$

dengan $I = \frac{1}{12}.b.h^3 = \frac{5,21}{10^5}.q.L^3 \rightarrow b = 0,000625.\frac{q.L^3}{h^3}$; jika dikehendaki $h = \frac{1}{12}.L$, maka didapat b = 1,08. q

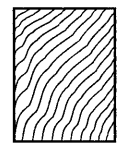
jadi ukuran kayu secara teoritis, untuk $f_{max} = \frac{1}{400}.L$, yaitu

b = 1,08.q dan $h = \frac{1}{12}.L$.



Dengan jalan yang sama ukuran kayu secara teoritis, untuk $f_{max} = \frac{1}{300}.L$, yaitu

b = 1,92.q dan $h = \frac{1}{16}.L$.



Contoh:

Balok kayu kelas kuat II harus menerima gaya horisontal dari beton cair secara terbagi rata sebesar q = 1294 KG/M = 12,94 KG/CM. Tegangan lentur kayu yang diperkenankan $\bar{\sigma}_{lt}$ = 100 KG/CM^2; modulus elastisitas E = 10^5 KG/CM^2.

Lendutan yang diperkenankan fijin = $\frac{1}{400}$ .L = $\frac{1}{400}$ .200 CM = 0,5 CM. Jadi secara teoritis kita langsung mendapatkan ukuran kayu adalah b = 1,08 x 12,94 = 13,975 CM; h = $\frac{1}{12}$ x 200 = 16,667 CM.

Check:

Tegangan lentur yang terjadi, $\sigma_{lt} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{8}x12,94x200^2}{\frac{\frac{1}{12}x13,975x16,667^3}{\frac{16,667}{2}}} = 99,997 \approx 100$ KG/CM²

Lendutan yang terjadi, $f = \frac{5}{384}.\frac{q.L^4}{E.I} = \frac{5}{384} x \frac{12,94x200^4}{10^5 x \frac{1}{12}x13,975x16,667^3} = 0,4999 \approx 0,5$ CM

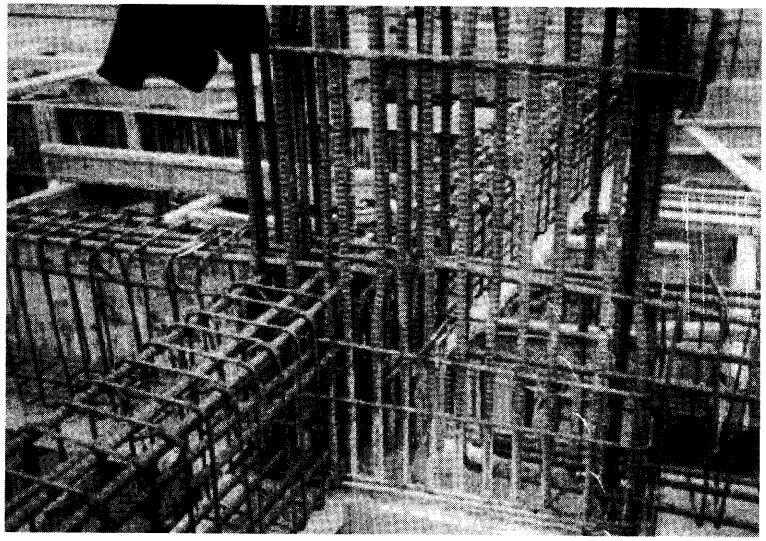
Tetapi di lapangan ukuran dibulatkan menjadi lebih aman, menjadi 14/17 atau 14/2x8,5

6.4 Pekerjaan Pembesian untuk Beton

Pembesian atau juga biasa disebut penulangan untuk beton, biasanya berfungsi untuk menahan gaya tarik yang terjadi pada beton, karena beton tidak kuat menahan gaya tarik, Ada juga tulangan yang ikut berfungsi menahan tekan, yaitu pada balok dengan tulangan rangkap dan pada pembesian kolom. Peran perencana dalam menghitung pembesian juga harus memperhitungkan jarak bersih antara besi, jangan sampai terjadi agregat kasar tertahan oleh anyaman besi beton sehingga di bawah anyaman akan keropos. Posisi yang demikian bisa terjadi misalnya pada pertemuan empat balok dengan sebuah kolom (gambar 6.24).

Dalam merencanakan pembesian sebaiknya tidak terlalu banyak ragam dan ukuran besi yang digunakan, hal ini untuk mengurangi peluang kesalahan petugas di lapangan. Sebelum suatu pekerjaan bangunan/proyek dimulai, salah satu pekerjaan yang harus dikerjakan adalah merencanakan potong dan bengkok besi. Potong dan bengkok besi dibuat dalam sebuah daftar untuk setiap diameter, yang disebut Daftar Potong dan Bengkok Besi (gambar

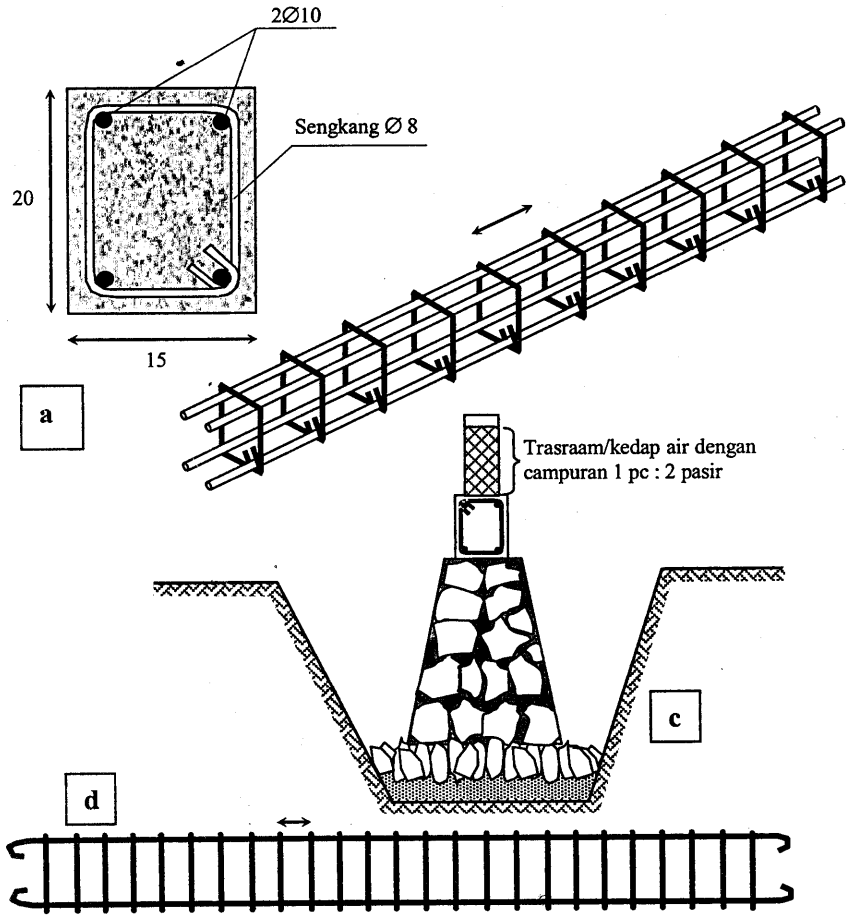
6.29, 6.30, & 6.31). Setiap jenis diameter, dihitung panjangnya dan dihitung jumlahnya, maka akan diketahui sisa panjangnya dan dari sisa panjang ini harus dipakai lagi untuk jenis bentuk lain yang pendek. Sisa terakhir adalah yang sudah tidak bisa dimanfaatkan lagi. Perlu diketahui bahwa panjang besi beton adalah 12 M.



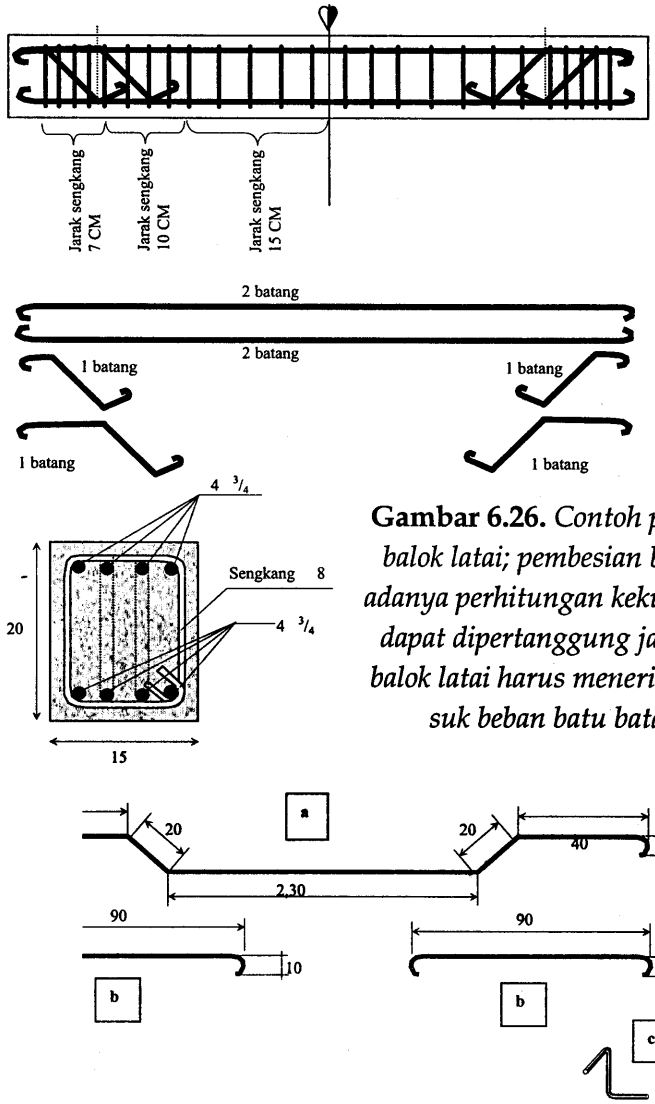
Gambar 6.24. *Pemasangan besi beton pada pertemuan empat balok dan sebuah kolom, di mana ada kemungkinan terjadi jarak bersih antara besi lebih kecil dari persyaratan minimum jaraknya, sehingga agregat kasar banyak yang menyangkut, mengakibatkan keropos di bawahnya.*

Dari daftar tersebut sudah direncanakan pemotongan yang paling efisien, sehingga sisa yang terbuang sesedikit mungkin. Pelaksana di lapangan harus mengikuti daftar pemotongan dan pembengkokan besi tersebut. Perakitan besi beton dengan mengikat dengan kawat ikat pada beberapa persilangan besi sehingga posisi dari besi beton kuat tidak berubah jika diinjak-injak oleh pekerja. Pada beberapa bagian dari anyaman besi beton yang terlalu panjang, dan jika diinjak dapat melentur, maka perlu diberi penyangga dari sisa-sisa besi, dengan bentuk sedemikian rupa sehingga dapat

menahan beban orang dan mesin pemadat beton (gambar 6.28(4)). Besi penyangga ini juga perlu diikat dengan anyaman besi. Di lapangan diberi istilah besi kaki ayam.

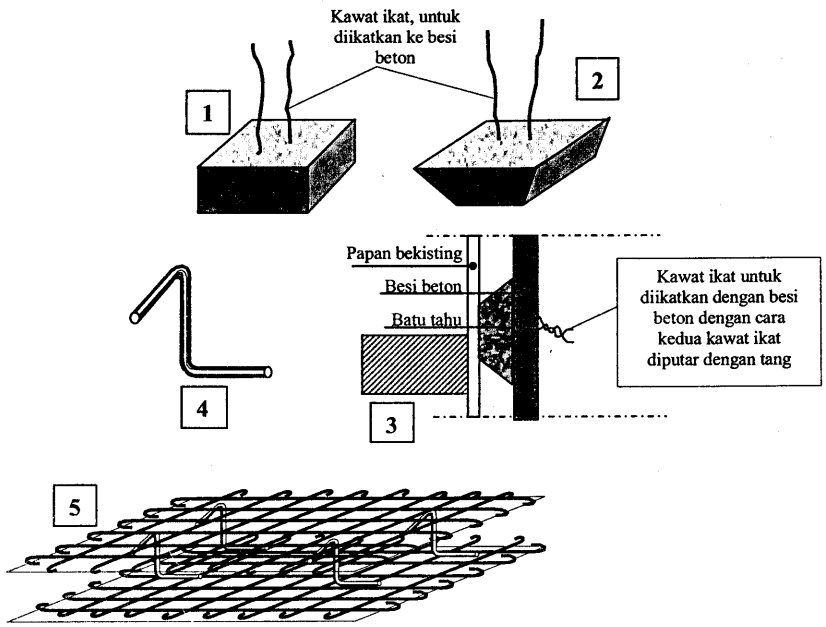


Gambar 6.25.*a. Potongan melintang contoh balok beton sloof. b. Gambar sepenggal rakitan besi beton untuk balok sloof. c. letak balok sloof di atas pondasi. d. Rakitan besi balok sloof.*



Gambar 6.26. *Contoh pembesian untuk balok latai; pembesian balok latai perlu adanya perhitungan kekuatan yang harus dapat dipertanggung jawabkan, karena balok latai harus menerima beban termasuk beban batu bata di atasnya*

Gambar 6.27. *Contoh bentuk tulangan besi beton yang harus dimasukan dalam Daftar Potong dan Bengkok, di mana harus diketahui panjang masing-masing yang dibutuhkan. Kemudian sisanya dipotong untuk yang lebih pendek. Dan terakhir sisa (c) dapat untuk penyangga antara rakitan besi atas dan bawah pada rencana pembesian plat dak*



Gambar 6.28 *1. Beton bentuk limas segi empat guna memberi jarak antara besi beton dengan dinding cetakan beton. 2. Idem butir 1 bentuk prisma segiempat terpancung. Beton ini di lapangan sering disebut sebagai batu tahu. 3. Cara pemasangan batu tahu diikatkan pada besi untuk menahan jarak dengan dinding cetakan beton. 4. Ganjal untuk menjaga jarak antara rakitan atas dan bawah, lihat juga gambar 5*

Pemotongan dan pembengkokan besi biasanya dengan mesin bertenaga listrik untuk pekerjaan besar dan secara massal, tetapi kadang-kadang perlu juga adanya alat pembengkokan secara manual untuk pekerjaan yang kecil-kecil dan hanya perlu satu atau dua buah saja. Rangkaian besi beton untuk balok-balok kecil dan kolom-kolom kecil misalnya balok *sloof* dan kolom praktis dikerjakan/dirakit di luar tempat pekerjaan (*prefabricated*). Tetapi untuk kolom-kolom besar, balok-balok besar dan plat lantai dikerjakan/dirakit langsung di tempat pekerjaan. Sekali lagi di sini perlunya dibuat *job layout* atau tata letak dari semua fasilitas rencana pembangunan tersebut (gambar 2.16), agar mendapatkan keteraturan cara bekerja. Pada bangunan bertingkat banyak panjang pembesian untuk kolom harus dilebihkan minimal 40 x ∅ besi, untuk stek penyambungan besi beton pada pengecoran kolom berikutnya di atasnya (gambar 6.12). Hal ini adalah untuk memudahkan pekerjaan pembesian. Jarak antara besi tulangan dengan batas luar beton, biasa disebut selimut beton, sangat penting untuk melindungi besi tulangan agar tidak kontak dengan udara, yang dapat menyebabkan berkarat.

Agar selalu ada jarak yang sama seperti yang dimaksud, maka antara besi tersebut dengan dinding cetakan diberi kotak beton yang berbentuk limas segi empat, dan yang lebih baik adalah berbentuk prisma segi empat terpancung dengan bidang yang lebih luas diletakan dibagian dalam diikatkan pada besi beton (gambar 6.28.1, 2, & 3). Kotak-kotak beton ini berukuran kira-kira 8 x 8 CM dengan tebal sesuai rencana selimut betonnya. Mutu dari kotak-kotak beton ini harus lebih tinggi atau sama dengan mutu dari beton strukturnya. Kotak-kotak beton harus dipasang sebanyak paling sedikit empat buah untuk setiap M^2 cetakan atau lantai kerja. Untuk merencanakan pembesian pada bangunan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat menghindari kerancuan atau kebingungan dari para petugas di lapangan.

6.5 Pekerjaan Pembetonan/Pengecoran Beton

Pada dasarnya beton adalah berupa bahan campuran dari semen, *aggregate*, dan air dengan perbandingan berat tertentu yang telah diaduk secara sempurna. *Aggregate* itu sendiri juga harus mengikuti perbandingan berat dari masing-masing gradasi sehingga didapat gradasi campuran *aggregate* yang baik (*well graded*). Untuk tujuan tertentu kadang-kadang campuran beton perlu ditambahkan *admixtures*, misalnya untuk meningkatkan *workability*, membuat cepat mengeras, menunda *setting time* dari beton, mempercepat *setting time* dari beton menambah kuat tekan beton, tahan

terhadap sulfat dan lain sebagainya. Secara umum proses kegiatan pembetonan seperti digambarkan pada gambar 6.32.

DAFTAR POTONG BENGKOK BESI

No	Bentuk dalam ukuran	Code	Banyak btg	Ø MM	Panj btg/M	Jml panj/M	Berat/KG	Pemakaian bahan				Sisa		Sisa untuk		Sisa tidak terpakai	Keterangan
								Ambil dari	Jml	Panj	Dipotong	Jml	panj	Code	Jml		

Dibuat oleh:	Diperiksa oleh	Disetujui oleh

Gambar 6.29. *Daftar Potong Bengkok Besi*

KANTOR XXXXXXXXXX Jl. YYYYYYYXXX Telp. ZZZZZZZ	Gambar No.: ....No. Pek. : .... DAFTAR PEMBENGKOKAN BESI Pekerjaan : .... Pertelaan : .... Tanggal : .... Daftar No. :....... ...Lemb. No.						
Gambar pembengkokan besi	Besi No.	jarak	Jml	Ø MM	Pan-jang M'	Kait	

Dibuat oleh:	Diperiksa oleh:	Disetujui oleh:

Gambar 6.30. *Daftar Pembengkokan Besi*

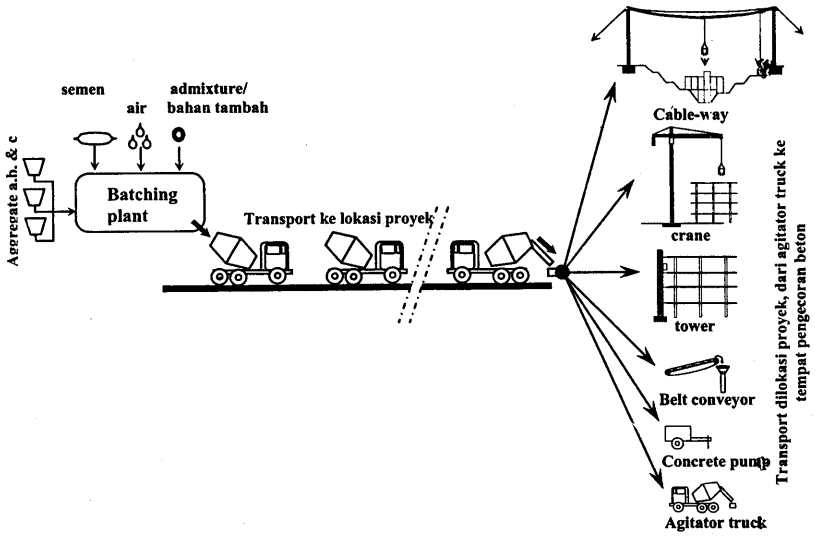
KANTOR XXXXXXXXXX Jl. YYYYYYYXXX Telp. ZZZZZZZ	Gambar No.: ....No. Pek. : ..... DAFTAR PEMOTONGAN BESI Pekerjaan : ..... Pertelaan : ..... Tanggal : ....Daftar No. :..... ..Lemb. No. .....

DIPOTONG DARI				DIPOTONG UNTUK						SISA			
Jumlah	Banyak	Ø	panjang	Banyak	Panjang	Banyak	Panjang	Banyak	Panjang	Banyak	Panjang	Banyak	Panjang

Dibuat oleh:	Diperiksa oleh:	Disetujui oleh:

Gambar 6.31. *Daftar Pemotongan Besi*

- *Batching plant*, merupakan pabrik pembuatan beton, atau mesin pengaduk beton (gambar 6.23). Di dalam mesin ini mempunyai alat timbangan secara *computerize* maupun secara manual, sehingga semua material beton dapat ditakar dengan timbangan berat secara tepat sesuai *mix design* yang sudah diuji coba, termasuk alat untuk mengetahui kandungan air yang terdapat di dalam agregat, sehingga timbangan air yang sesuai *mix design* dapat dikurangi terhadap kandungan air di dalam agregat tersebut. *batching plant* ini mempunyai drum untuk pengaduk semua material beton, dengan ketentuan waktu yang yang dapat disetel; pada umumnya lama pengadukan minimal 1,5 menit setelah semua material beton masuk di dalam drum pengaduk. Saat sekarang sudah banyak pengusaha yang menawarkan pembuatan beton, sehingga untuk proyek yang dekat dengan *batching plant* tersebut lebih efisien menggunakan jasa pengusaha tersebut.



Gambar 6.32. *Proses pelaksanaan pekerjaan beton pada suatu proyek*

- *Transport*, di sini yang dimaksud adalah membawa adukan beton cair dari *batching plant* ke tempat lokasi proyek, biasanya dengan menggunakan *agitator-truck*. Perjalanan ini dapat mengalami waktu yang perlu diperhitungkan, karena beton mengeras ada batasan waktunya (*setting time*). Di kota akan mengalami kemacetan lalu lintas. Untuk proyek yang memerlukan jumlah volume beton yang besar dan terletak di *remote area* atau daerah yang sulit untuk mendapatkan fasilitas untuk

maksud tersebut, perlu diperhitungkan dengan mengadakan *batching plant* sendiri khusus untuk proyek tersebut.

- Pengangkutan beton cair di dalam lokasi proyek. Beton cair yang dibawa oleh *agitator-truck* ke dalam lokasi proyek belum tentu dapat langsung dituangkan ke dalam cetakan beton. Ada beberapa kemungkinan untuk mengangkut beton cair ke tempat cetakan beton, yang mana kesemuanya tergantung kondisi lapangan dan kebutuhan kecepatan pengecoran beton, di antaranya adalah,
  - ♦ *Agitator-truck.* Beberapa kasus untuk pengecoran yang langsung di bawah tanah, dan tinggi jatuhnya beton tidak melebihi 1,5 M, misalnya pondasi, *pile-cap*, dan lain-lain dapat langsung dari *agitator-truck* ditumpahkan dengan melalui talang. Tetapi jika ada kemungkinan tinggi jatuhnya melebihi 1,5 M, maka perlu menggunakan pipa tremi. Hal ini semua untuk menghindari terjadinya segregasi.
  - ♦ *Concrete-pump.* Jika kondisi lapangan dan lokasi tidak memungkinkan, beton cair dari *agitator-truck* dapat dipompakan melalui pipa besi sampai ke lokasi cetakan beton.
  - ♦ *Belt-conveyor.* Dari kondisi lapangan yang tidak memungkinkan, dapat digunakan *belt-conveyor*, untuk menghindari tinggi jatuh dari beton yang melebihi 1,5 M. Dengan tinggi jatuh melebihi 1,5 M dapat terjadi segregasi pada beton cair.
  - ♦ *Tower.* Untuk mengangkut beton cair pada ketinggian tertentu, tetapi masih perlu pengangkutan lagi dengan gerobak menuju ke tempat cetakan beton.
  - ♦ *Tower-crane.* Untuk mengangkut beton cair pada ketinggian tertentu, tetapi sudah langsung dapat ditumpahkan ke dalam cetakan dengan melalui *bucket.*
  - ♦ *Cable-way.* Untuk mengangkut beton cair, di mana kondisi lapangan yang sudah susah untuk dijangkau dengan peralatan yang disebutkan di atas. Beton cair dapat langsung dituangkan ke dalam cetakan beton dengan melalui *bucket*

- Setelah beton diletakan ke dalam cetakan, harus segera dipadatkan dengan *concrete vibrator* atau jarum penggetar. Selesainya pemadatan beton ini, harus terjadi sebelum tercapainya waktu pengikatan permulaan dari semen. Catatan: waktu pengikatan permulaan adalah jangka waktu dari mulainya pengukuran pasta semen pada konsistensi normal sampai pasta kehilangan sebagian sifat plastis (menjadi beku).
- *Finishing*/penyelesaian akhir
- *Curing*/perawatan. Masa perawatan beton sangat penting karena dapat mempengaruhi mutu kekuatan beton.

Pada pembuatan beton perlu ada rencana campuran beton yaitu menentukan proporsi dari semen, *aggregate*, air dan jika diperlukan *admixtures*, untuk mendapatkan sifat beton yang diinginkan. *Aggregate* kasar dan halus merupakan 75 - 80% dari bagian beton. *Aggregate* ini akan diikat menjadi satu dengan adanya proses kimia antara semen yang tercampur dengan air. Jadi fungsi dari air adalah untuk menjadikan semen menjadi bahan pengikat antara aggregat kasar dan agregat halus, dan untuk menjadikan campuran beton menjadi cukup lunak membentuk beton sesuai yang diinginkan. Dengan terlalu banyak air maka akan memudahkan pemadatan beton tetapi sebaliknya akan membuat beton menjadi tidak kokoh. Dengan kurangnya semen maka tidak cukup pasta semen untuk mengikat partikel-partikel dari aggregat, sehingga beton tidak kokoh. Jadi nyata bahwa beton harus dengan menggunakan air yang seminim mungkin agar mendapatkan beton yang kokoh, tetapi harus masih mudah dapat dikerjakan/*workable*. Kadang-kadang aggregat juga mengandung air lebih di permukaannya karena terkena hujan, maka air ini perlu diperhitungkan. Biasanya pada *batching plant* sudah ada alat pengukur kadar air dalam *aggregate.*

Pekerjaan beton ini sangat penting dan sangat rawan sekali sebelum menjadi keras. Beton dalam keadaan masih cair dengan campuran sesuai *mix design*,

- Harus segera diletakan dalam cetakan beton, jangan sampai sebelum selesai pemadatan sudah melewati waktu pengikatan awal. Jika beton sudah bersifat beku maka bahan semen tidak lagi menjadi bahan pengikat. Sekarang ada bahan tambahan (*additive/admixture*) untuk memperpanjang waktu pengikatan semen. Beton yang sudah bersifat beku mutlak harus dibuang.
- Tidak boleh terjadi segregasi. Jadi dari mesin pengaduk dibawa ke tempat cetakan beton harus selalu diaduk, yaitu dengan pengangkutan memakai *agitator truck*.
- Tidak boleh berubah ratio semen/air. Rasio semen/air dapat berubah misalnya tertimpa air hujan. Rasio semen/air yang berubah terlalu banyak, maka betonnya harus dibuang.
- Harus segera dipadatkan dengan *concrete vibrator*. *Concrete vibrator* ada dua macam, yang langsung dimasukan ke dalam adukan beton dan ada yang ditempelkan pada dinding cetakan beton. *Concrete vibrator* ditancapkan ke dalam beton sampai kira-kira lapisan susu semen mulai timbul pada permukaan. Pemadatan dengan *concrete vibrator* tidak boleh sampai terkena beton yang sudah dicor sebelumnya yang sudah bersifat beku, juga dihindari agar saat menggetarkan tidak langsung terkena besi beton, maupun cetakan beton. Diusahakan agar *concrete vibrator* berjarak sampai 5 CM saja dari cetakan beton dan beton terdahulu yang sudah dicor dan sudah bersifat beku. Jika *concrete vibrator* terkena cetakan beton atau besi beton, getaran akan diteruskan ke tempat di mana beton terdahulu yang sudah bersifat beku, sehingga getaran pada besi beton akan melepaskan ikatannya antara besi beton dengan beton, demikian pula halnya jika terjadi pada papan cetakan, beton yang sudah bersifat beku akan menjadi rusak karena pengaruh getaran. *Concrete vibrator* harus dimasukan secara vertikal atau jika terpaksa dengan posisi miring maksimal 45° dan tidak boleh digerakan dengan arah horisontal, karena akan mengakibatkan segregasi. Jarak antara pemasukan *concrete vibrator* dibuat sedemikian sehingga akan saling menutup daerah pemadatannya. Daerah pemadatan ini tampak pada lingkaran susu semen yang timbul di permukaan. Lama pemadatan dengan *concrete vibrator* lebih kurang 30 detik. Jika pemadatan diteruskan sampai terlalu lama akan terjadi segregasi, yaitu secara berturut-turut berkumpulnya agregat kasar bersama-sama turun kebagian bawah, kemudian diikuti terkumpulnya agregat yang halus. Setelah selesai pemadatan, *concrete vibrator* ditarik dengan kecepatan sedemikian rupa, sehingga lubang bekas *concrete vibrator* dapat tertutup kembali, dan tidak membuat lubang.
- Harus terhindar dari air hujan atau air lainnya. Waktu pengecoran beton jika terjadi hujan harus ditutup dengan plastik atau pekerjaan dihentikan.
- Pengecoran beton tidak boleh dijatuhkan lebih dari 1,5m yang akan berakibat segregasi.
- Pengecoran beton baru yang akan diletakan di samping atau di atas adukan beton sebelumnya, adukan beton sebelumnya harus masih dalam keadaan belum beku.
- Beton yang sudah bersifat beku, tidak diperbolehkan diganggu. Diganggu di sini adalah misalnya digetarkan dengan *concrete vibrator*, dibongkar untuk ditutup kembali, besi beton perpanjangannya tidak boleh terkena *concrete vibrator*. Jika beton yang sudah bersifat beku terganggu maka harus dibongkar dan dibuang.
- Untuk pengecoran beton yang sangat tebal harus dilaksanakan dengan lapis demi lapis, sedemikian sehingga setiap tebal lapisan tidak boleh melebihi dari panjang *concrete vibrator*; perkiraan setiap lapis sekitar 30 - 50 CM.
- Pada peletakan adukan beton untuk pekerjaan *mass concrete* (pembetonan secara massal) dan sangat tinggi, misalnya sampai setinggi 2,5 M, maka temperatur beton pada proses pengerasan tidak boleh melebihi 40° C. Untuk maksud tersebut adukan beton dapat dengan menggunakan air yang sudah

didinginkan, atau di dalam beton diberi pipa ∅ ± 1", berupa jalur yang melalui seluruh bagian dalam beton, kemudian dialiri dengan air dingin dari mesin *water chiller*, sehingga dalam proses pengerasan temperatur tidak terlalu tinggi. Kemudian pipa ini nantinya di*grout* atau diisi dengan adukan pasir semen dengan mutu sama atau lebih tinggi dari betonnya.

- Jika pengecoran beton pada permukaan tanah, permukaan tanah harus dijadikan lembab terlebih dahulu agar air semen tidak diserap terlalu banyak ke dalam tanah. Untuk pengecoran beton struktur tidak boleh langsung di atas tanah tetapi harus dilandasi terlebih dahulu dengan beton ringan untuk lantai kerja.
- Jika beton baru akan diletakan pada beton lama yang sudah mengeras, maka permukaan beton lama harus dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan angin tekanan tinggi (*high-pressure* air), semprotan air, dan sikat besi. Jika pemberhentian beton lama tidak dengan cetakan, akan diragukan kepadatan pada permukaan pemberhentian tersebut, maka permukaan beton lama tersebut harus dipotong ± 5 cm. Permukaannya harus dibasahi tetapi harus tidak ada air sisa yang menggenang. Semen *grout* dikuaskan pada permukaannya, kemudian segera diberi lapisan 1 - 1 ½ CM *mortar* kuat, dan beton baru dapat segera diletakan di atasnya. Saat sekarang banyak produk untuk perekat beton antara beton lama dan beton baru sebagai ganti *grout* dan *mortar*.
- Untuk pengecoran pada cetakan yang dalam, harus menggunakan pipa *tremie* untuk mengurangi tinggi jatuh bebas dari beton. Tinggi jatuh tidak boleh lebih dari 1,5m agar tidak terjadi segregasi.

Karena hal-hal tersebut di atas maka dianggap pembetonan sangat rawan. Jika salah langkah, maka akan mendapat resiko kerugian yang besar, karena mutu beton akan menjadi rendah.

Dalam pekerjaan bangunan ada yang memerlukan beton sangat sedikit dan ada pula yang memerlukan beton sangat banyak. Jika sudah di lapangan perlu memasukkan faktor efisien dalam perhitungan. Karena kriteria pembangunan yang berhasil adalah *performance* yang baik, mutu yang baik dan harga yang murah. Jadi untuk pengecoran beton perlu dipertimbangkan kondisi lapangan dan tingkatan volumenya. Jangan sampai volume yang sangat sedikit direncanakan menggunakan *concrete mixer* yang besar, yang akan mengakibatkan alat menjadi *idle*. Perlu dipertimbangkan pula kapan harus mengadakan investasi alat sendiri dan kapan hanya cukup diserahkan kepada lembaga lain sesuai ahlinya atau *out sourcing*. Untuk pengecoran secara massal dengan volume besar, kondisi lapangan sangat terisolir, dan misalnya untuk setiap kali pengecoran sampai 200 - 700 M^3, maka dapat dengan mengadakan *batching plant* yang besar dengan kapasitas 70 M^3 per jam, atau dengan membuat *order* ke perusahaan pembuat beton jika jaraknya memang memenuhi syarat.

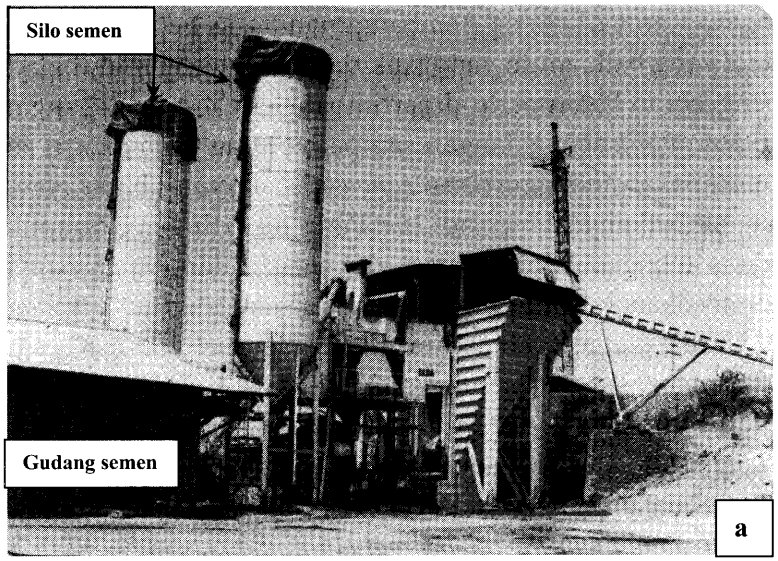
Proses pengecoran beton adalah sangat penting. Selama pengecoran *site engineer* harus di tempat pengecoran, karena harus membuat suatu keputusan jika ada masalah dalam proses pengecoran tersebut. Untuk itu maka satu hari sebelum pengecoran semua peralatan/mesin harus di yakini siap pakai.

Pengecoran dengan volume yang besar, yang memerlukan lebih dari 24 jam, maka pekerja dibagi dalam beberapa shift, di mana per shift bekerja 6 - 8 jam. Tetapi *site engineer* harus tetap di tempat.

6.5.1 *Mix design*/Rencana Campuran Beton

Konsep rencana campuran yang telah diberikan oleh Goldbeck dan Gray, dalam buku *High Way Materials* oleh Robert D. Krebs dan Richard D. Walker, dinamakan *aggregate void concept.*

Di sini perlu ada beberapa pengertian di antaranya adalah b, b_0, dan b/b_0.

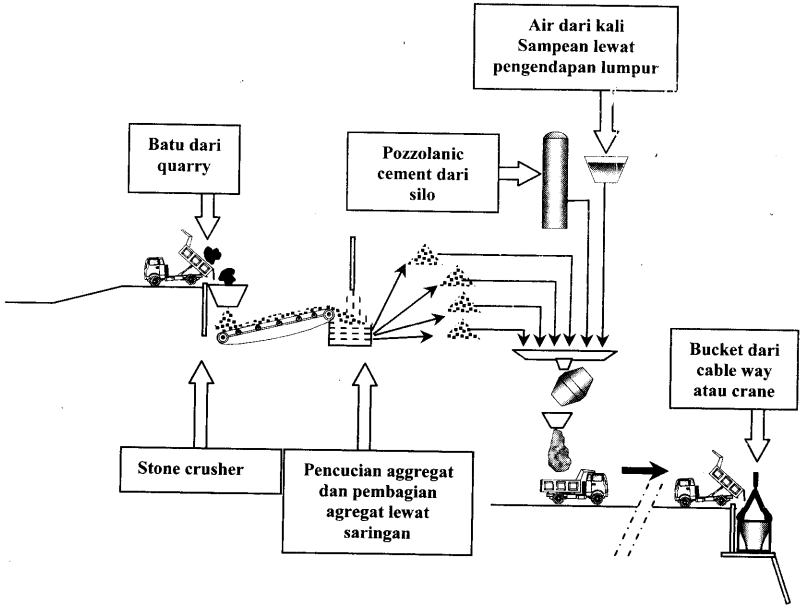


Gambara 6.33. *Batcing plant dengan kapasitas ± 70 M³ per jam di Proyek Dam Sampean Baru Jawa Timur. a. dilengkapi dengan dua buah silo semen. Semen dari gudang dimasukan ke dalam silo dengan screw conveyor. b. sebuah dump-truck sedang diisi dengan adukan beton cair*

b adalah *solid volume* (volume masif = volume pejal) dari agregat kasar dalam satuan volume dari beton.

b_0 adalah *solid volume* (volume masif = volume pejal) dari agregat kasar dalam satuan volume dari agregat kasar kering yang telah dipadatkan (*dry-rodded coarse aggregate*)

b/b_0 adalah volume dari agregat kasar kering yang telah dipadatkan dalam satuan volume dari beton.



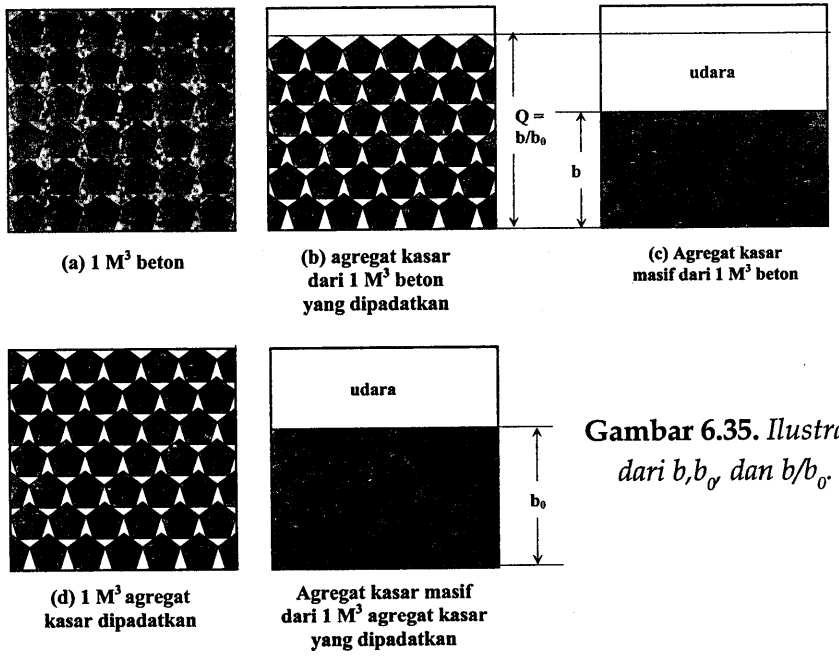
Gambar 6.34. *Bagan alur dari adukan beton di Proyek Dam Sampean Baru*

Untuk memahami pengertian ini, kita membayangkan ada 1 M^3 beton, kemudian dari 1 M^3 beton tersebut kita pisahkan khusus agregat kasarnya saja, dan dipadatkan dengan prosedur standar, dan volume ini kita sebut Q M^3 (gambar 6.35(b)). Seandainya Q M^3 agregat kasar tersebut dapat meleleh (seperti lilin yang dipanaskan) maka akan menjadi benda masif/pejal/solid dengan volume b M^3 (gambar 143(c)). Kita bayangkan lagi 1 M^3 agregat kasar (be-

rat satuan) yang dipadatkan (gambar 6.35(d)), dan kita lelehkan sehingga volume menjadi b_0 M^3. Karena jenis agregatnya sama maka menyusutnya volume dari agregat padat biasa menjadi volume masif adalah dengan perbandingan yang sama, yaitu

$$\frac{Q\,M^3}{b\,M^3} = \frac{1\,M^3}{b_0\,M^3} \text{ atau } Q = \frac{b}{b_0}$$

Untuk mendapatkan nilai $\frac{b}{b_0}$, pada tabel 6.4, yaitu volume dari agregat kasar yang dipadatkan per unit volume dari beton, dengan gradasi yang berlain-lainan, dan juga untuk gradasi pasir yang berlain-lainan yang dinyatakan dengan modulus kehalusan. Modulus kehalusan (*Fineness Modulus* = FM) adalah indek kekasaran atau kehalusan dari material, yang secara matematik didapatkan dengan menjumlahkan prosentase kumulatif dari material yang tertahan pada setiap ukuran saringan, dan dibagi dengan 100. Jadi semakin besar angkanya berarti semakin kasar dan sebaliknya.



Gambar 6.35. *Ilustrasi dari b, b_0, dan b/b_0.*

Tabel 6.4. *Volume ageregat kasar yang dipadatkan per unit volume dari beton*

Saringan agregat kasar	Pasir halus		Pasir sedang			Pasir kasar		
	Modulus kehalusan dari pasir							
	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	3,10
	$Q = \frac{b}{b_0}$							
No.4 - ½ "	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52
No.4 - ¾"	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59
No.4 - 1"	0,71	0,70	0,69	0, 68	0,67	0,66	0,65	0,64
No.4 - 1 ½ "	0,75	0,74	0,73	0, 72	0,71	0,70	0,69	0,68
No.4 - 2"	0,78	0,77	0,76	0, 75	0,74	0,73	0,72	0,71
No.4 - 2 ½ "	0,80	0,79	0,78	0, 77	0,76	0,75	0,74	0,73

Sumber dari Robert D.Krebs/Richard D. Walker, *Highway Materials*, McGraw Hill

Tabel 6.5. *Kebutuhan Semen dan air yang diperlukan dalam 1 m^3 beton struktur tanpa bahan tambah air-entraining agent*

Ukuran agregat		Inch	No.4 - ½ " 4,76 - 12,70		No.4 - ¾" 4,76 - 19,05		No.4 - 1" 4,76 - 25,40		No.4 - 1 ½ " 4,76 - 38,10		No.4 - 2" 4,76 - 50,80		No.4 - 2 ½ " 4,76 - 63,50	
		MM	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24
Slump		Inch	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"
		MM	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24
Air, liter per M^3 beton	Agregat kasar bentuk bersegi		207,95	217,85	198,05	207,95	188,14	198,05	178,24	188,14	173,28	183,19	168,34	178,24
	Agregat kasar bentuk bulat		188,14	198,05	178,24	188,14	168,34	178,24	158,44	168,34	153,48	163,39	148,53	158,44
Kuat desak 28 hari, / KG/CM^2			Berat semen per M3 beton / KG											
140,620			256,53	267,69	245,38	256,53,	234,22	245,38	223,07	234,22	217,49	223,07	211,92	217,49
175,775			278,84	289,99	267,69	278,84	250,95	267,69	234,22	250,95	228,65	239,80	223,07	234,22
210,93			301,15	317,88	289,,99	301,15	273,26	289,99	256,53	273,26	245,38	262,11	239,80	256,53
246,085			239,03	351,34	312,30	329,03	295,57	312,30	278,84	295,57	273,26	289,99	267,69	278,84
281,240			362,49	384,80	345,76	362,49	323,45	345,76	306,72	323,45	301,15	317,88	289,,99	306,72
316,395			401,53	418,26	379,22	395,95	356,91	379,22	340,18	356,91	329,03	351,34	317,88	340,18
351,550			451,72	474,03	429,41	451,72	407,10	429,41	384,80	407,10	373,64	395,95	362,49	384,80
Perkiraan kandungan udara / %			2,5 %		2,0 %		1,5 %		1 %		1 %		1 %	

Sumber dari Robert D.Krebs / Richard D. Walker, *Highway Materials*, McGraw Hill

Dalam pembuatan adukan beton perlu mempertimbangkan *workability* atau sifat kemudahan untuk dikerjakan dari adukan beton tersebut, yaitu dengan menambahkan *admixture* atau bahan tambah. Bahan tambah yang dapat membuat adukan beton lebih bersifat plastis, mudah dipadatkan, dan menghindari segregasi, yaitu *air-entraining-agent*, berupa bahan tambah pada adukan beton yang menahan gelembung-gelembung udara kecil di dalam beton.

Contoh kasus.

- Diminta beton (*non-air-entraining structural concrete*) dengan kuat desak pada 28 hari sebesar 300 KG/CM^2.
- Diminta *slump* 15 CM.
- Agregat kasar yang dipakai berupa
  - ~ Ukuran No. 4 – ½ "
  - ~ Batu berupa *crushed stone* (*angular coarse aggregate* – bentuk bersegi-segi)
  - ~ *Specific gravity* 2,70
  - ~ Berat agregat dalam 1 M^3 (berat satuan) = 1540 KG.
- Agregat halus yang dipakai berupa
  - ~ Modulus kehalusan 2,40
  - ~ *Specific gravity* 2,50
- Semen yang dipakai
  - ~ *Specivic gravity* 3,14
  - ~ Berat per sak 50 KG

Penyelesaian.

- Agregat kasar No. 4 – ½ "
  - ~ *Specific gravity* 2,70 → berat agregat *masif/solid* 2,70 x 1000 KG/M^3 = 2700 KG/M^3.
  - ~ Berat agregat dalam 1 M^3 (berat satuan) = 1540 KG
  - ~ Volume $b_0 = \frac{1540\,KG}{2700\,KG/M^3} = 0{,}5704\ M^3$

Tabel 6.6. *Kebutuhan Semen dan air yang diperlukan dalam 1 m³ beton struktur dengan bahan tambah air-entraining agent*

Ukuran agregat	Inch	No.4 - ½" 4,76 - 12,70		No.4 - ¾" 4,76 - 19,05		No.4 - 1" 4,76 - 25,40		No.4 - 1 ½" 4,76 - 38,10		No.4 - 2" 4,76 - 50,80		No.4 - 2 ½" 4,76 - 63,50	
	MM												
Slump	Inch	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"
	MM	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24
Air, liter per M³ beton	*Agregat* kasar bentuk bersegi	188,14	198,05	178,24	188,14	168,34	178,24	158,44	168,34	153,48	163,39	148,53	158,44
	Agregat kasar bentuk bulat	173,29	183,19	163,39	173,28	153,48	163,39	143,58	153,48	138,63	148,53	133,68	143,58
Kuat desak 28 hari, / KG/CM²		Berat semen per M³ beton/KG											
140,620		245,38	262,11	234,22	245,38	217,49	234,22	206,34	217,49	200,76	211,92	195,19	206,34
175,775		273,26	290,00	256,53	273,26	245,38	256,53	234,22	245,38	223,07	239,80	217,49	234,22
210,93		312,30	329,03	295,57	312,30	278,84	295,57	262,11	278,84	250,95	267,69	239,80	262,11
246,085		351,34	373,64	334,61	351,34	312,30	334,61	295,57	312,30	284,42	301,15	273,26	295,57

Tabel 6.6. *Lanjutan*

Ukuran agregat	Inch	No.4 - ½" 4,76 - 12,70		No.4 - ¾" 4,76 - 19,05		No.4 - 1" 4,76 - 25,40		No.4 - 1 ½" 4,76 - 38,10		No.4 - 2" 4,76 - 50,80		No.4 - 2 ½" 4,76 - 63,50	
	MM												
Slump	Inch	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"	3"	6"
	MM	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24	7,62	15,24
281,240		401,53	418,26	379,22	401,53	356,91	379,22	334,61	356,91	323,45	345,76	312,30	334,61
316,395		451,72	474,03	423,83	451,72	401,53	423,83	379,22	401,53	368,07	390,37	356,91	379,22
351,550		513,06	540,95	485,18	513,06	457,30	485,15	429,41	457,30	412,68	446,14	401,53	429,41
Perkiraan kandungan udara/%													

Sumber dari Robert D.Krebs/Richard D. Walker, *Highway Materials*, McGraw Hill

- Agregat halus
  - ~ *Specific gravity* 2,50 → berat agregat masif/solid 2,50 x 1000 KG/M³ = 2500 KG/M³.
- Semen
  - ~ *Specific gravity* 3,14 → berat semen masif/solid 3,14 x 1000 = 3140 KG/M³
  - ~ berat per zak semen 50 KG → volume semen masif/solid per zak = $\frac{50}{3140}$ = 0,01592 M³.
  - ~ Dengan data yang diminta
    - o ukuran agregat kasar No. 4 - ½ ";
    - o *slump* 15 CM
    - o memakai agregat kasar *crushed stone* → bentuk bersegi
    - o kuat desak 28 hari 300 KG/M².

    Kita dapat membuat pendekatan untuk mencari kebutuhan air dan semen dalam Tabel 6.4, sebagai berikut
    - o ukuran agregat kasar No. 4 - ½ ";
    - o *slump* 15,24 CM
    - o memakai agregat kasar *crushed stone* → bentuk bersegi
    - o kuat desak 28 hari 316,395 KG/M².

    Dari tabel 6.5 (beton struktur tanpa bahan tambah air-entraining agent), didapat kebutuhan untuk 1M³ beton, air = 217,85 liter; semen = 418,26 KG.
- Perhitungan proporsi campuran untuk 1M³ beton
  - ~ Dengan menggunakan ukuran agregat kasar no. 4 - ½ " dan agregat halus dengan modulus kehalusan 2,40, dari Tabel 6.4 didapat b/b_0 = 0,59.
  - ~ Jadi volume masif/solid dari agregat kasar (b) = 0,59 x 0,5704 M³ = 0,3365 M³.
  - ~ Berat masif/solid dari agregat kasar yang diperlukan = 0,3365 x 2700 KG = 908,55 KG.
  - ~ Air yang diperlukan = 217,85 liter

Bahan Beton	Volume masif untuk 1 M³ beton/M³	Berat untuk 1 M³ beton/KG
Semen	418,26 : 3140 = 0,133204 M³	418,2600 KG
Agregat kasar	0,336500 M³	908,5500 KG
Air	217,85 : 1000 = 0,217850 M³	217,8500 KG
Udara (tabel 6.5)	2,5% = 0,025000 M³	0 KG
Jumlah	= 0,712554 M³	
Agregat halus	(1 - 0,712554) = 0,287446 M³	0,287446 x 2500 = 718,6150 KG

Beberapa penjelasan

- Agregat kasar

  Untuk mengetahui *specivic gravity* dari agregat kasar, ada dua macam yaitu dalam keadaan kering oven dan dalam keadaan kering permukaan (*saturated surface dry*/SSD). Dalam prosedur ini biasanya dilakukan dengan benda uji 5 KG agregat tertahan pada saringan No. 4, kemudian dicuci untuk menghilangkan debu yang menempel. Agregat dikeringkan di dalam oven sampai terjadi berat yang tetap, yang berarti semua air sudah tidak ada. Benda uji direndam dalam air dengan temperatur ruang selama 24 jam. Agregat satu per satu dikeringkan dengan kain lap yang bersih untuk mendapatkan kondisi SSD. Kemudian dikeringkan lagi dalam oven sampai terdapat berat yang konstan, kemudian ditimbang sebagai kontrol terhadap kemungkinan ada kehilangan partikel dari agregat. *Specivic gravity* didapat dengan persamaan,

  $$\textit{Specivic gravity}\ (SG) = \frac{G_{\text{kering oven}}}{G_{SSD} - G_{\text{dalam air}}}$$

  $G_{\text{kering oven}}$ = berat kering oven benda uji di udara

  G_{SSD} = berat SSD benda uji di udara

  $G_{\text{dalam air}}$ = berat benda uji jenuh air di timbang dalam air

  Untuk *specivic gravity* dalam kondisi SSD dengan menggunakan persamaan,

  $$\textit{Specivic gravity}\ (SG)\ \text{kondisi SSD} = \frac{G_{SSD}}{G_{SSD} - G_{\text{dalam air}}}$$

Dengan demikian prosentase absorpsi air ke dalam agregat dihitung dengan persamaan,

$$\text{Absorpsi} = \frac{G_{SSD} - G_{\text{kering oven}}}{G_{\text{kering oven}}} x100\%$$

Untuk mendapatkan berat satuan dari agregat kasar, adalah dengan jalan mengisi agregat dalam sebuah tabung dengan satuan ukuran tertentu, pengisian secara 3 (tiga lapis), dan tiap lapis ditusuk-tusuk sebanyak 25 (dua puluh lima) kali dengan batang besi tertentu. Kemudian agregat ditimbang, jadi kita bisa menentukan berat satuan dari agregat tersebut dalam keadaan rapat.

- Agregat halus

1 (satu) KG agregat halus dikeringkan dalam oven sampai terjadi berat yang tetap. Setelah direndam dalam air selama 24 jam, kemudian diletakan dan disebar pada permukaan yang rata sambil diaduk dan diangin-angin. Pasir kemudian dimasukan ke dalam cetakan bentuk kerucut terpancung (*conical mold*) di mana kemiringan sisinya lebih besar dari sudut lereng alam pasir. Pasir di dalam *mold* dipadatkan dengan tusukan 25 kali. Jika *mold* diangkat dan pasir tetap membentuk seperti cetakan, maka pasir perlu dikeringkan lagi dengan diangin-angin sambil diaduk-aduk. Percobaan ini dilakukan sampai pasir turun atau merosot jika *mold* diangkat. Pasir dengan kondisi SSD akan membentuk sudut lerang alam dari pasir. 500 gram pasir SSD kemudian dimasukan ke dalam *pycnometer* 500 ml dan diisi air sampai 500 ml, kemudian ditimbang. Benda uji diletakan di pan dan dikeringkan di dalam oven sampai terjadi berat yang tetap. *Specivic gravity* dihitung dengan persamaan,

$$\textit{Specivic gravity}\ (\text{SG}) = \frac{G_{\text{kering oven}}}{G_{pycnometer+air} + 500 - G_{pycnometer+\text{pasir}+\text{air}}}$$

Untuk *specivic gravity* dalam kondisi SSD dengan menggunakan persamaan,

$$\textit{Specivic gravity}\ (\text{SG})\ \text{kondisi SSD} = \frac{500}{G_{pycnometer+\text{air}} + 500 - G_{pycnometer+\text{pasir}+\text{air}}}$$

Dengan demikian prosentase absorpsi air ke dalam agregat dihitung dengan persamaan,

$$\text{Absorpsi} = \frac{500 - G_{\text{kering oven}}}{G_{\text{kering oven}}} x100\%$$

6.5.2 Tahap Perawatan Beton (*Curing Concrete*)

Beton setelah selesai dipadatkan dan dirapikan, perlu melalui tahap perawatan. Beton sewaktu masih dalam keadaan cair akan segera kehilangan air yang dikandungnya, baik melalui penguapan dan sebagian lagi dapat melalui dinding cetakan yang bocor, hal ini akan menjadikan beton mengalami penyusutan. Kemudian diikuti lagi penyusutan karena sewaktu mengalami proses reaksi kimia beton menjadi panas, dan kemudian menjadi dingin. Dengan demikian perlu dijaga agar penguapan tidak perlu terlalu cepat. Dengan penguapan yang terlalu cepat atau berarti penyusutan yang terlalu cepat pada bagian permukaan, ini akan mengakibatkan bagian permukaan mengalami tegangan tarik yang melebihi kemampuan beton yang masih muda, sehingga terjadilah retak-retak. Retak ini sering terjadi sewaktu beton masih plastis sampai mulai mengeras pada perkiraan 1 sampai 2 jam setelah selesai pemadatan. Untuk mengatasi selama ini dengan selalu dibasahi pada permukaan atau dengan menutupi permukaan dengan cara tertentu dalam waktu lebih dari enam hari sehinggga mengurangi kecepatan penguapan. Sehubungan dengan panas karena reaksi semen, perlu perhatian terutama pada pengecoran beton yang sangat tebal, misalnya pada pekerjaan pengecoran beton secara masal dengan ketebalan lebih dari 1,5 M, jangan sampai terjadi perbedaan suhu yang besar pada permukaan luar beton dan yang di dalam beton, di mana hal ini akan dapat mengakibatkan retak. Untuk itu pengecoran beton yang sangat tebal perlu pada bagian tengah dari permukaan diberi lu-

bang sampai kedalaman kira-kira ditengah-tengah, dengan diameter secukupnya agar alat pengukur suhu dapat dimasukan. Untuk mengatasi panas pada pekerjaan pengecoran beton masal ini jika perlu dan terpaksa di dalam beton yang tebal tersebut diberi *coil*/kumparan pipa untuk menyalurkan air dingin, sehingga panas di dalam beton dapat teratasi. Tujuan dari *curing*/perawatan beton ini adalah agar beton dapat mencapai tegangan maksimum serta sifat-sifat lain yang diinginkan. Untuk itu perlu beberapa tindakan berupa, cetakan beton sementara tetap pada posisinya, dibuat permukaan tetap basah untuk beton lantai, menutup permukaan dengan *liquid curing compound* yang akan membentuk lapisan kedap air sehingga menahan hilangnya air. *Curing compond* ini dilaksanakan dengan dikuaskan pada permukaan atau dengan disemprotkan pada permukaan.

6.5.3 Pengecoran Beton pada Udara yang Panas

Pengecoran beton pada udara yang panas perlu ada perhatian terhadap temperatur dari beton tersebut. Untuk di Indonesia untuk pengecoran dengan bentuk struktur yang kecil-kecil, misalnya pada jembatan, struktur gedung bertingkat, tidak begitu besar pengaruhnya, karena struktur semacam ini ukuran penampang tidak begitu besar, sehingga temperatur pada bagian dalam beton akan segera menyesuaikan dengan selalu disiramnya beton atau direndamnya beton. Tetapi untuk pekerjaan *mass concrete*, dengan bentuk yang tebal dan besar, temperatur ditengah-tengah beton akan mengalami kenaikan yang sangat besar, hal ini akan berbahaya karena beton dapat retak. Untuk itu adukan beton perlu didinginkan terlebih dahulu agar beton tetap pada batas temperatur yang ditentukan. Untuk itu ada beberapa jalan,

- Air untuk pencampur adukan beton didinginkan terlebih dahulu dengan mesin *water chiller*.
- Air adukan beton diberi serpihan es sebagai bagian dari air yang dibutuhkan pada beton tersebut.

- Di dalam struktur beton diberi jalur pipa besi yang melingkar (*coil*) secara merata dan dialiri air yang sudah didinginkan, sehingga dapat membantu bagian dalam dari beton tersebut akan turun temperaturnya. Jalur pipa besi tersebut tidak perlu diambil, tetapi cukup di*grout* dengan adukan semen, biasanya campuran pasir, semen, dan *admixture*, dengan kuat desak yang sama atau lebih tinggi dari kuat desak betonnya.

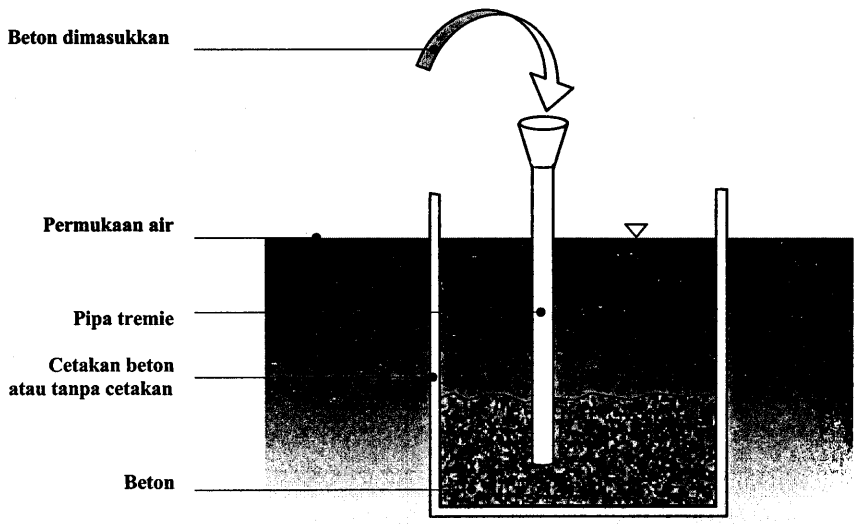
6.5.4 Pengecoran Beton pada Udara yang dingin

Iklim di Indonesia tidak mengalami temperatur udara yang lebih rendah dari titik beku air. Tetapi pada daerah yang mengalami temperatur udara yang sangat dingin, perlu memanaskan air pencampur beton terlebih dahulu, karena air membeku. Perlu perhatian di sini terhadap sifat anomali air, di mana air jika didinginkan dari 4°C sampai 0°C bukan akan menyusut tetapi justru akan mengembang. Kekuatan mengembang ini dapat mempunyai gaya desak yang cukup besar sehingga akan mendesak material beton yang belum cukup kuat, sehingga beton akan pecah-pecah. Hal ini terjadi sewaktu beton mengalami proses hidrasi sehingga beton menjadi panas, padahal temperatur udara sekeliling kadang-kadang di bawah titik beku, sehingga besar kemungkinan air di dalam beton akan mengalami perubahan temperatur dari 4°C sampai 0°C dan semua air di dalam beton yang dekat permukaan akan mengalami akibat sifat anomali air ini. Pada sekitar permukaan beton dapat terjadi penurunan kualitasnya.

6.5.5 Pengecoran Beton di dalam Air atau di bawah Muka Air Tanah

Jika terpaksa harus dilakukan pengecoran di dalam air, maka beton harus diletakan melalui pipa, biasa disebut pipa *tremie*, yang cukup panjang sehingga sampai pada dasar struktur yang akan dicor. Pipa *tremie* merupakan bagian-bagian pipa besi, setiap bagian dengan panjang 2 atau 3 meter, yang mana bagian-bagian tersebut

dapat disambung-sambung. Ujung bawah dari pipa *tremie* ini harus selalu di bawah permukaan dari beton yang masih cair, agar beton baru yang masih cair tidak kontak dengan air (lihat gambar 6.36). Ujung bawah dari pipa ini kira-kira pada kedalaman 1 m dari permukaan beton. Tetapi jangan pula ujung bawah pipa ini selalu berada di dasar tempat pengecoran, hal ini dikhawatirkan beton bagian bawah sudah mulai mengeras yang sebenarnya sudah tidak boleh diganggu lagi. Untuk mengetahui ketinggian permukaan beton yang sudah dicor, dapat dengan cara yang mudah, yaitu mencelupkan unting-unting yang diikat dengan tali, sampai terasa menyentuh permukaan beton. Adukan beton yang pertama selalu akan terletak di atas, karena selalu akan terdesak oleh adukan beton berikutnya yang melalui pipa *tremie*. Sehingga pada tahap akhir pengecoran beton bagian atas ini dianggap kurang memenuhi syarat karena selalu kontak dengan cairan *bentonite*. Dan bagian ini akan dipotong lebih kurang 50 CM.



Gambar 6.36. *Pengecoran beton di dalam air dengan pipa tremie*

Untuk pengecoran beton struktur di dalam tanah dan di bawah permukaan air tanah, perlu penanganan khusus, terutama dalam hal

- Mengatasi longsornya dinding tanah, sehingga dapat mengotori beton
- *Workability* dari bahan adukan beton
- Metode pelaksanaannya

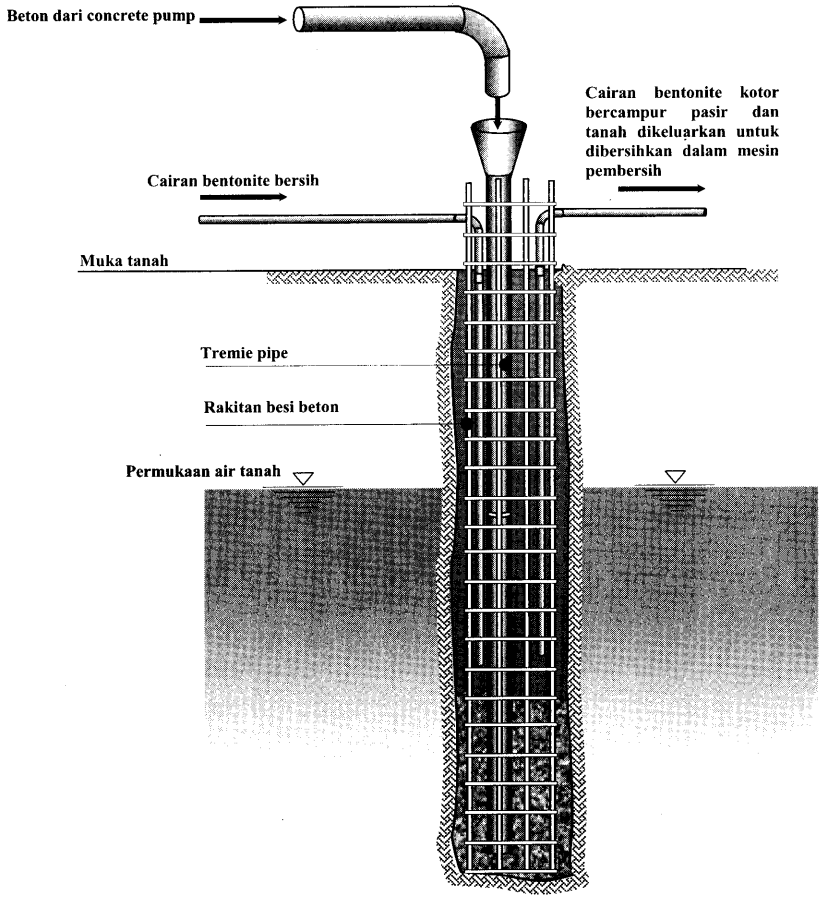
Untuk menjaga agar dinding tanah tidak longsor, lubang galian harus selalu terisi dengan cairan *bentonite*, sedemikian rupa sehingga permukaannya lebih tinggi dari permukaan air tanah. Dengan demikian cairan *bentonite* dengan berat jenis yang lebih besar dari berat jenis air tanah, akan mengalir ke dalam tanah atau berarti akan menekan dinding tanah untuk mengatasi longsornya gumpalan-gumpalan tanah dari dinding lubang tersebut.

Di dalam lubang galian yang sempit dan dalam akan sulit untuk mengerjakan pemadatan dengan *concrete vibrator*. Dengan demikian untuk mengatasi *workability*, adukan beton dibuat dengan *slump* yang tinggi, atau dengan menggunakan *admixture* dari jenis *palstikizer*. Hal ini akan mempunyai konsekuensi bahwa kebutuhan semen akan menjadi lebih banyak untuk mencapai kuat desak yang dipersyaratkan.

6.5.6 Pengecoran di bawah permukaan air tanah pada pembuatan *diaphragm wall*

Bentonite di dalam lubang galian akan selalu berkurang karena meresap ke tanah, dan dianggap selalu dikotori dengan tanah. Sehingga perlu adanya pemasukan cairan *bentonite* melalui pipa-masuk, dan pengeluran *bentonite* yang kotor melalui pipa-keluar. Cairan *bentonite* yang kotor dimasukan ke dalam mesin untuk memisahkan kotorannya dan kemudian dimasukan kembali ke dalam lubang galian melalui pipa-masuk. Dalam kasus pembuatan *diaphragm wall* kita sukar untuk memadatkan beton dengan *concrete vibrator*, karena selain biasanya galian tanahnya sempit dan sudah

penuh dengan rakitan besi beton, *tremie* pipe, dan pipa-pipa *bentonite*, juga biasanya galian sangat dalam; selain itu dengan getaran dari *concrete vibrator* akan mengakibatkan runtuhnya tanah sehingga akan mengotori beton. Untuk itu maka beton dibuat cair sekali, sehingga perlu penambahan ekstra semen untuk mengimbangi cairnya beton, dan ukuran agregat memakai ukuran yang kecil agar tidak menyangkut di antara rakitan besi beton.



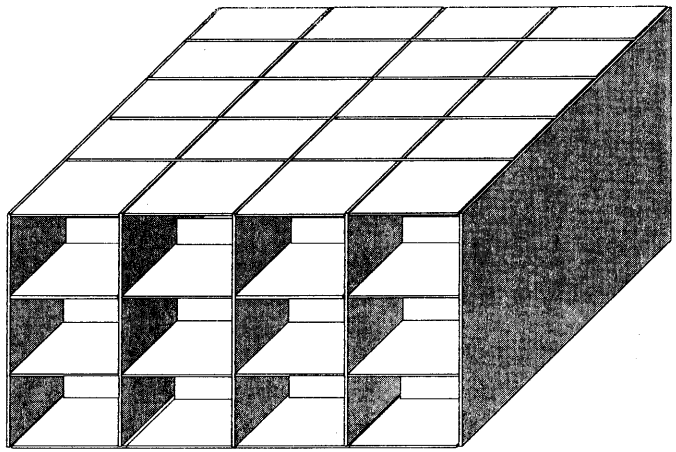
Gambar 6.37. *Pengecoran beton di bawah permukaan air tanah pada pembuatan diaphragm wall*

Pengecoran beton dengan menggunakan pipa *tremie*, sehingga beton seminimal mungkin kontak dengan air, dan untuk menghindari segregasi. Komponen-komponen pipa *tremie* ini dapat disambung-sambung sehingga mencapai dekat dengan dasar galian. Dengan naiknya beton pada galian maka pipa termie juga diangkat, tetapi tetap harus terendam di dalam beton ± 1,00 m. Metode pengecorannya dapat dilihat pada gambar 4.45, dengan cara bergantian dan selang seling setiap dua lubang galian.

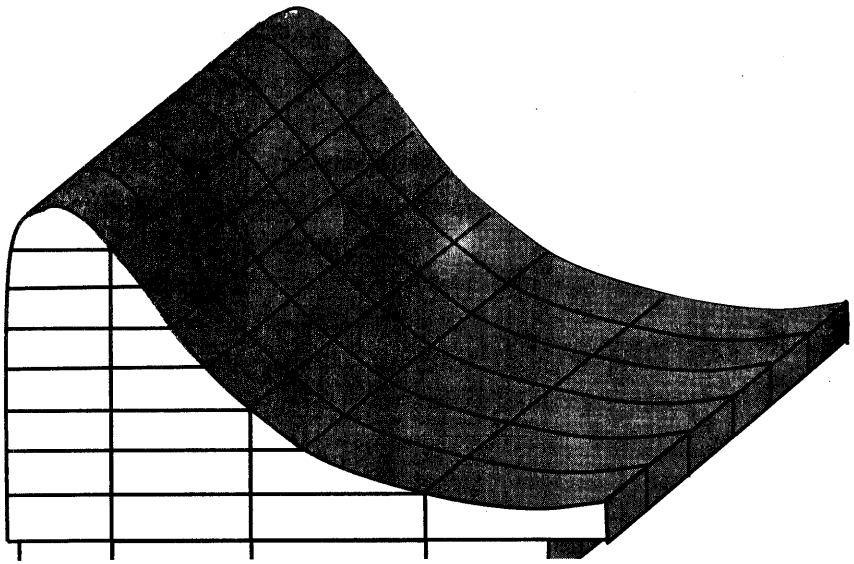
Setelah selesai pengecoran, jika bagian atas dari *diaphragm wall* akan disambung dengan struktur beton berikutnya, maka bagian atas dari beton *diaphragm wall* tersebut harus dipotong ± 0,50 m, karena beton pada bagian ini dianggap kurang kuat karena selama proses pengecoran selalu kontak dengan cairan *bentonite* dan kemungkinan kotoran atau tanah/pasir.

6.5.7 Pengecoran Beton Secara Masal/*Mass concrete*

Pengecoran beton secara massal merupakan metode pekerjaan pada struktur beton dengan volume yang sangat besar. Kasus ini misalnya dapat terjadi pada struktur untuk pondasi suatu bangunan, pada pembuatan dam beton dan bentuk struktur lainnya yang sangat besar. Karena volume struktur yang sangat besar, maka untuk tahap-tahap pekerjaan pengecorannya juga sangat besar volumenya. Bandingkan misalnya untuk gedung bertingkat banyak, tahap pengecorannya setelah pekerjaan pondasi dan *basement*, berupa tahap pengecoran kolom, kemudian tahap pengecoran plat lantai, dan seterusnya dari lantai bawah ke lantai atas berikutnya. Volume dari masing-masing tahap biasanya masih kecil dan dapat dilaksanakan hanya dalam waktu kurang dari 12 jam, dan waktu ini biasanya karena tingkat kesulitannya yang sangat tinggi, bukan volumenya yang besar. Jika pada pengecoran secara massal, tahap-tahapannya dibagi-bagi menurut bidang-bidang horisontal dan vertikal (gambar 6.38 dan 6.39).



Gambar 6.38. *Konsep tahapan-tahapan pengecoran berupa blok-blok beton berbentuk kotak-kotak pada struktur beton berupa kotak.*

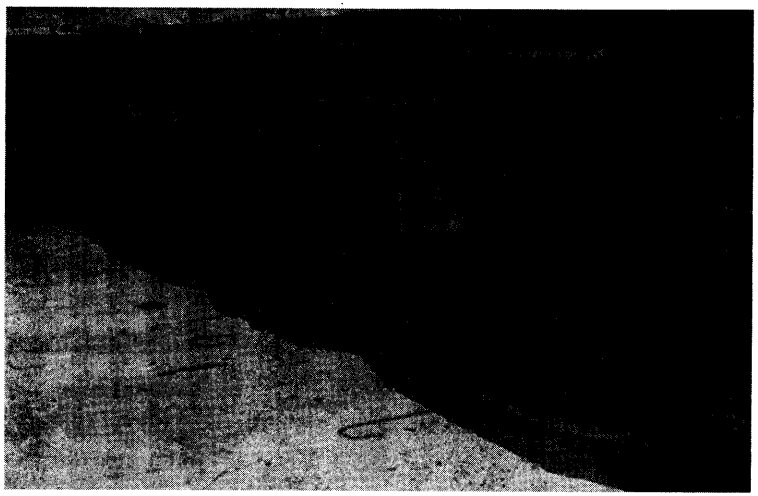


Gambar 6.39. *Konsep tahapan-tahapan pengecoran bentuk struktur dam beton dapat berupa blok-blok seperti dalam gambar*

Tahapan pengecoran ini berupa blok-blok beton berbentuk kotak, atau jika pengecoran untuk struktur dam beton, pembagian tahapan-tahapannya seperti gambar 6.39. Kontak antara blok-blok beton tersebut kadang-kadang perlu ada ikatan. Ikatan ini dapat berupa dowel dari besi beton, dan bentuk *shear-key* termasuk *water-stop* untuk menahan rembesan air. Semua ini tergantung kegunaan dari struktur tersebut (gambar 6.40 dan 6.41). Ukuran blok beton harus diperhitungkan beratnya untuk fungsi dari strukturnya sendiri, karena jika terlalu kecil/ringan dapat mempengaruhi kegunaannya dari struktur tersebut. Kita akan membuat perkiraan volume suatu blok. Luas dari masing-masing blok beton dapat berukuran sampai 300 M^2, dengan tinggi dapat sampai 2,50 M, tergantung dari pembagian kotak-kotaknya dan luas keseluruhan. Dengan demikian volume beton yang harus dicor sekaligus pada blok tersebut dapat sekitar 750 M^3. Dengan volume yang besar tersebut, perlu mempunyai metode kerja sedemikian sehingga memenuhi kriteria yang diperlukan dalam persyaratan pengolahan beton. Kita sudah mengetahui bahwa,

- Beton cair mempunyai batas durasi tertentu yang masih dapat dan boleh diolah.
- Beton setelah menjadi padat akan mengalami pemuaian karena panas akibat reaksi kimia pencampuran semen dengan air, dan kemudian akan menyusut kembali karena temperatur turun dan juga karena air yang keluar.
- Setelah menjadi beton cair sesuai dengan perbandingan rencana campuran, tidak boleh mendapat tambahan air.
- Dalam proses peletakan beton, yaitu mulai keluar dari *batching plant*, pengangkutan beton ke tempat lokasi yang akan dicor, dan pemadatan beton, tidak boleh terjadi segregasi.

Gambar 6.40. *Bentuk shear-key kontak antara blok beton yang satu terhadap yang lain yang bersebelahan*



Gambar 6.41. *Cetakan beton bentuk shear-key. Bagian bawah sudah dicor beton. Tampak dibagian atas sudah terpasang form-ties, untuk pegangan climbing shuttering pada pengecoran beton berikutnya dibagian atas. Tampak pula water-stop yang sudah terpasang.*

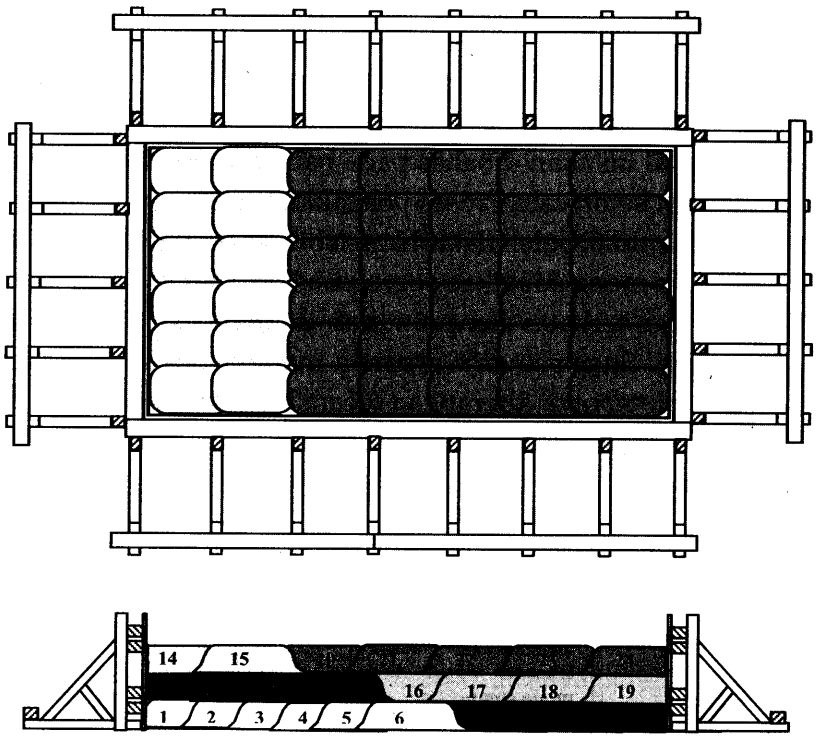
Kita akan bahas satu per satu, dari keempat kriteria tersebut di atas

Kita tahu bahwa beton yang sudah mengeras, sama sekali tidak boleh mendapat gaya ataupun perubahan bentuk, karena akan mengakibatkan retak yang tidak dapat saling mengikat lagi. Pada peletakan beton secara massal hal ini sangat penting dan harus diperhatikan, karena dengan volume yang besar, akan memerlukan proses pencampuran material beton, pengangkutan, dan pemadatan, yang tidak mungkin dalam waktu yang singkat. Sehingga peletakan dan pemadatannya beton perlu diatur sedemikian sehingga jika akan menumpahkan beton yang baru di atas atau di samping beton yang sudah diletakan terdahulu, maka beton yang diletakan terdahulu harus masih dalam keadaan cair atau dengan kata lain beton belum mulai mengeras atau *setting time* belum terlampaui. Pengaturan semacam ini sangat sulit, karena mandor maupun pelaksana sangat sibuk dengan pengawasan lokasi peletakan beton dan pemadatan beton, untuk itu *site engineer* yang harus selalu mengikuti urutan dari peletakan beton, sehingga beton mana yang menjelang waktunya akan menjadi keras, harus segera ditumpuki di atasnya dan/atau di sampingnya. Durasi beton yang akan mengeras ini tergantung dari jenis semennya dan banyaknya air yang dicampurkan, dan hal ini perlu diteliti dalam laboratorium. Untuk semen biasa berkisar antara 1 sampai 1 ½ jam. Sekarang ada *admixture* untuk menunda waktu beton mengeras, yang disebut retarder, sehingga dapat sampai lebih dari 3 jam. Dengan demikian kita dapat lebih leluasa untuk mengatur peletakan beton. Untuk memudahkan pekerjaan pengaturan peletakan beton, dapat menggunakan tipe *bucket* yang mempunyai volume yang besar. Atau dapat juga dengan cara memperkecil blok-blok beton yang dicor, hal ini tergantung dengan struktur dari bangunannya. Metode pelaksanaan pengecoran dapat menggunakan ilustrasi yang terdapat dalam gambar 6.42. Pada awalnya beton diletakan (dengan warna putih) sebanyak 6 baris termasuk waktu untuk pemadatannya, yaitu nomor 1 sampai dengan 6. Karena waktu mengeras

untuk urutan nomor 1 sudah hampir habis (misalnya tinggal 20 menit lagi), maka pengecoran termasuk pemadatannya harus pindah di atas urutan nomor 1 lagi (yaitu warna biru) dengan urutan pengecoran 7 sampai dengan 10. Tetapi ujung nomor 6 batas waktu mengeras sudah hampir habis, jadi harus pindah di sampingnya (warna merah) dengan urutan pengecoran 11 sampai dengan 13. Karena urutan nomor 7 batas waktu mengeras sudah hampir habis, jadi harus pindah di atasnya (warna biru muda) dengan urutan pengecoran nomor 14 dan 15. Urutan pengecoran 11 batas waktu mengeras sudah hampir habis, jadi harus pindah di atasnya (warna kuning) dengan urutan pengecorannya nomor 16 sampai dengan 19. Dan terakhir adalah dengan urutan pengecoran nomor 20 sampai dengan 24 (warna abu-abu). Bandingkan dengan pengecoran beton pada struktur bangunan yang volume pengecorannya kecil, tidak perlu memperhatikan batas waktu mengerasnya beton, karena tahap pengecoran berikutnya di atas ataupun di sampingnya, adukan beton terdahulu selalu masih dalam keadaan cair.

Beton setelah menjadi padat akan mengalami pemuaian karena panas akibat reaksi kimia pencampuran semen dengan air, dan kemudian akan menyusut kembali karena temperatur turun dan juga karena air yang keluar. Masalah muai dan susut dari beton dengan metode pelaksanaan per blok ini perlu diperhitungkan, jangan sampai blok beton yang di bawah sedang mengalami penyusutan maksimum, sedangkan blok beton di atasnya yang baru selesai di cor, sedang mengalami pemuaian maksimum. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya keretakan pada kontak antara blok-blok beton tersebut. Dalam penyelidikan menunjukkan bahwa beton setelah menjadi keras, akan mengembang karena panas akibat hidrasi semen sampai pada kira-kira 50 jam setelah pengecoran. Dan kemudian akan menyusut karena temperatur menurun sampai kira-kira 250 jam, dan setelah itu penyusutan berjalan sangat pelan. Untuk itu dianjurkan agar pengecoran berikutnya di atas

blok beton yang sudah dicor sebelum berumur 3 hari, atau sekalian menunggu sampai setelah berumur lebih dari 10 hari.

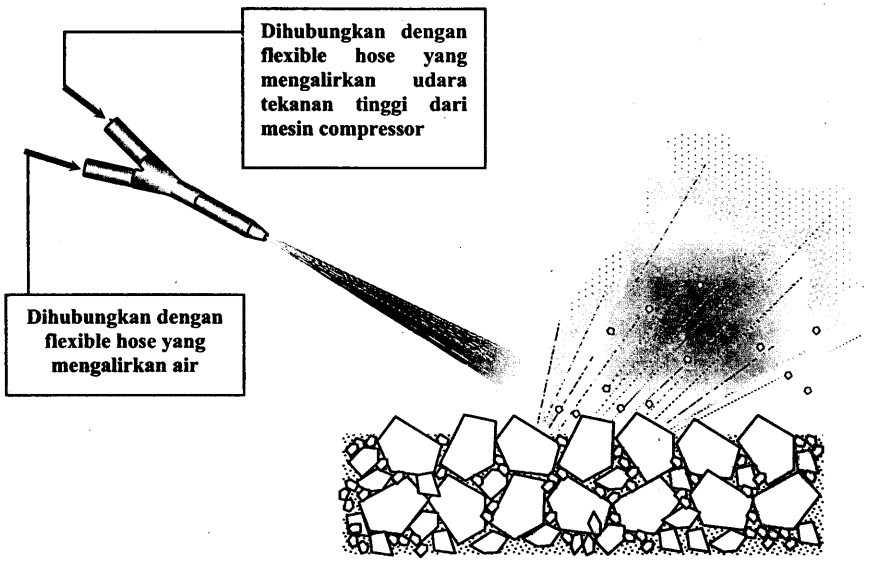


Gambar 6.42. *Ilustrasi metode pelaksanaan peletakan beton secara masal*

Pada prinsipnya semua jenis pengecoran beton tidak boleh ada perubahan rencana dari campuran beton. Jadi dalam hal ini jika dalam keadaan hujan perlu ada tindakan khusus agar air hujan tidak menambah dalam campuran beton. Jika hal ini tidak memungkinkan maka perlu pengecoran diberhentikan setelah dipadatkan. Jika sampai tidak sempat memadatkan maka beton sebelum mengeras harus dibuang. Pemberhentian pengecoran ini, jika setelah dipadatkan, maka untuk penyambungannya pada pengecoran beton berikutnya yaitu pada keesokan harinya, beton yang terdahulu harus dipotong setebal ± 5 CM, karena setebal tersebut

biasanya pemadatan kurang sempurna. Jika dalam pemberhentian ini ada bagian beton yang tipis, harus dihilangkan/dipotong. Perlu perhatian pula bahwa agregat kasar maupun halus jika basah karena hujan, kandungan airnya perlu diperhitungkan dalam campuran betonnya.

Masalah segregasi tidak boleh terjadi pada beton yang masih cair dan hal ini akan dibahas pada bab berikutnya pada proses pengangkutan beton cair. Proses peletakan beton juga perlu perhatian, beton cair tidak boleh dijatuhkan lebih tinggi dari 1,50 M, karena hal ini akan mengakibatkan segregasi. Pemadatan beton dengan *concrete vibrator*, terbatas sampai sudah terlihat susu semen keluar ke permukaan. Susu semen warnanya mengkilat. Jika pemadatan dengan *concrete vibrator* diterapkan secara berlama-lama, akan mengakibatkan segregasi, karena *aggregate* yang besar akan memisah turun ke bawah.



Gambar 6.43. *Green-cutting*

Kontak antara beton yang bawah dengan beton di atasnya harus sempurna. Lapisan pada permukaan beton yang berupa susu semen dan setebal beberapa milimeter merupakan lapisan dengan komposisi yang tidak bergradasi baik. Hal ini karena selama pemadatan beton dengan *concrete-vibrator* air semen dan pasir yang sangat halus saja terkumpul dibagian atas dan bagian ini perlu dikupas. Jika pengecoran beton telah selesai, 3 atau 4 jam kemudian, di mana beton masih belum terlalu keras, permukaan beton dipotong dengan semprotan air dan tekanan angin yang keras, sehingga lapisan dipermukaan beton dapat hilang tetapi batu-batu dari agregat kasar yang menonjol sebagian, masih kuat terikat dalam beton. Pemotongan semacam ini disebut *green cutting*. Lihat gambar 6.43. Pemotongan semacam ini bisa juga dengan menggunakan sikat besi, tetapi untuk permukaan yang sangat luas lebih cepat dengan semprotan air dan udara bertekanan.

6.5.7 Pengecoran Beton untuk Perkerasan Jalan (*Rigid Pavement*)

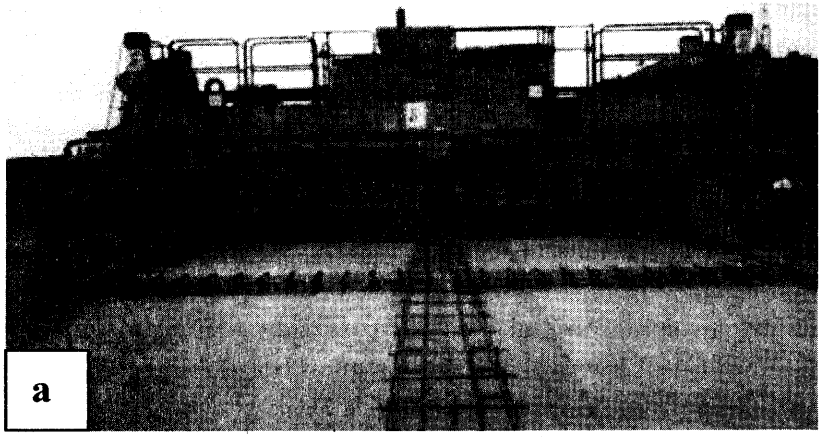
Saat sekarang pengecoran beton untuk perkerasan jalan sudah lebih mudah dilaksanakan dengan adanya peralatan yang modern, seperti pada gambar 6.44. Gambar 6.44.a persipan pengecoran, gambar 6.44.b sewaktu pengecoran beton, tampak dibagian depan berderet beberapa *concrete vibrator*; gambar 6.44.c pekerjaan perapian dengan mesin; alat perapian ini terletak di bagian belakang.

Bahan Tambah untuk Adukan Beton (*Admixtures*)

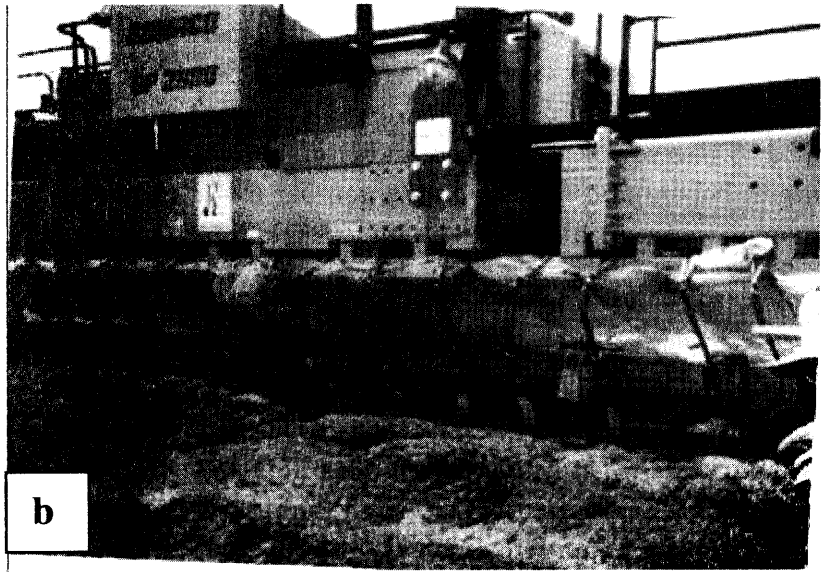
Bahan tambah secara umum untuk adukan beton ini mempunyai beberapa fungsi di antaranya adalah,

- Mempercepat pengerasan, atau memperpendek waktu pengikatan semen/*setting time*, biasa disebut *accelerators*.
- Memperlambat/menunda pengerasan, atau memperpanjang waktu pengikatan semen, biasa disebut *retarders*.

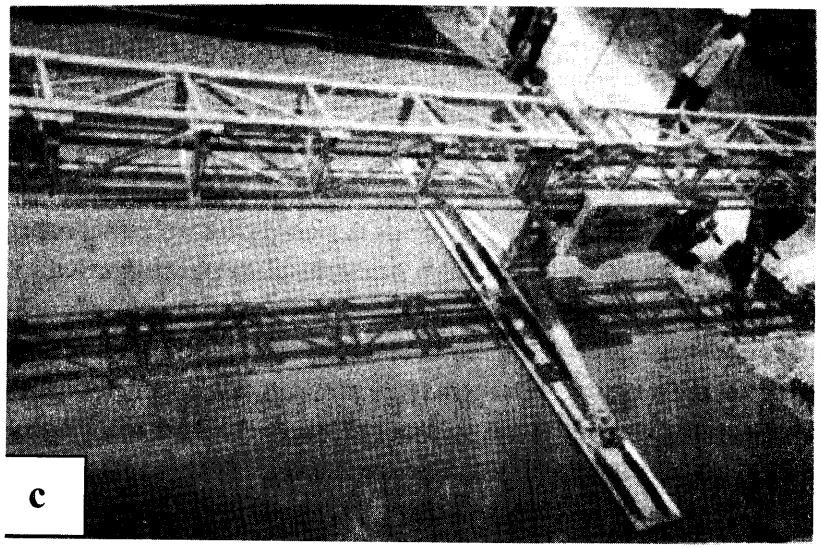
- Mempermudah pengerjaan dari adukan beton, biasa disebut *workability* agents.
- Memberi efek warna atau pigments.



Gambar 6.44. a. *Mesin penghampar beton untuk pembuatan jalan.*



Gambar 6.44.b. *Mesin penghampar beton*



Gambar 6.44.c. *Alat untuk perapian permukaan beton*

Accelerators. Pada kasus kegiatan proyek tertentu, memerlukan percepatan pengerasan, atau memperbesar kecepatan hidrasi dari adukan beton. Akibatnya adalah memperpendek *setting time*, pengerasan beton lebih awal, dan menghasilkan panas yang melebihi normal. Dengan panas yang berlebihan yang dihasilkan campuran adukan beton dengan bahan *accelerators* ini, di negara kita dengan iklim yang panas akan mempunyai akibat kurang baik, selain juga dengan bahan tambahan ini akan memperbesar penyusutan kering dari beton. Semen dengan kadar alumina yang tinggi mempunyai sifat sangat mempercepat pengerasan sampai kurang dari enam jam. Dengan sifat seperti ini sangat baik untuk semen *grout* pada lubang-lubang baut, dan menutup rembesan air.

Retarders. Hal sebaliknya pada kasus tertentu pada kegiatan proyek memerlukan pengerasan beton yang dilambatkan. Sebagai contoh hal ini cocok untuk pengecoran beton pada daerah dengan iklim yang sangat panas, pembuatan *diaphragm wall* di dalam tanah, pengecoran beton secara massal (lihat gambar 6.42), dan untuk

menghilangkan semen pada permukaan beton sehingga hanya bagian agregat kasar yang menonjol (gambar 6.43).

Workability agents. Adukan beton perlu dibuat yang *workable*/ mudah dikerjakan, hal ini bisa dicapai jika adukan beton tersebut encer, atau dengan *slump* yang tinggi. Yang dimaksud mudah dikerjakan di sini adalah mulai dari pengadukan/pencampuran, pengangkutan, pemadatan, dan penyelesaian perapian. Kita tahu bahwa dengan menambah air akan menurunkan mutu beton. Tetapi dengan kemajuan teknologi sekarang sudah ada bahan tambah untuk adukan beton sehingga adukan menjadi encer, tetapi tidak mempengaruhi mutu kuat tekan beton. Perbaikan *workability* ini ada dua aspek yang berbeda. Pertama, yang dimaksud adalah agar adukan beton menjadi encer sehingga mudah pemadatan dan pengangkutannya. Kedua, adalah perbaikan agar adukan beton bersifat menjadi lebih *cohesive*. Beberapa produk untuk menjadikan adukan beton mempunyai *slump* yang besar telah banyak menunjukkan tidak mempengaruhi kuat tekannya.

6.6 Pengangkutan Beton dalam Pelaksanaan Pengecoran

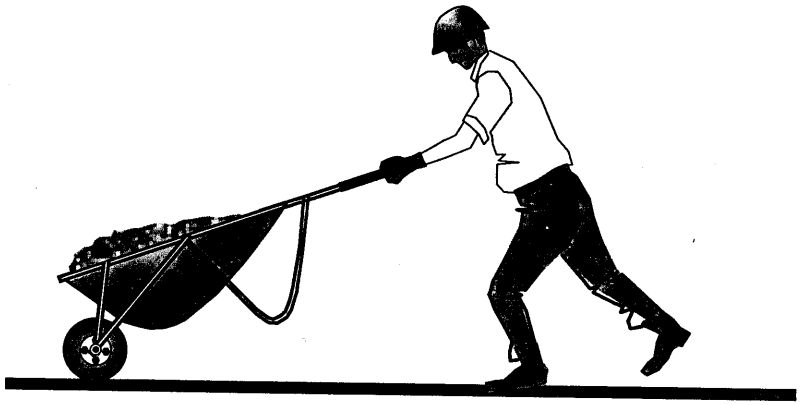
Metode pelaksanaan pengecoran dan pengangkutan beton pada suatu pekerjaan proyek, harus betul-betul dipilih, agar dapat memenuhi dari beberapa tujuan tersebut di bawah ini, yaitu,

- ekonomis
- menghindari segregasi
- peletakan beton sebelum beton mulai menjadi keras

Metode pelaksanaan dan pengangkutan dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu dengan gerobak dorong (*buggy*), *buckets* dan *crane, hoisting tower, cable way*, talang (*chutes*), *belt conveyors, dump-truck, concrete pump* dan *agitator-truck*. Masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan pada kondisi tertentu, tinggal

kita harus membuat rencananya dan harus diperhitungkan kapasitasnya.

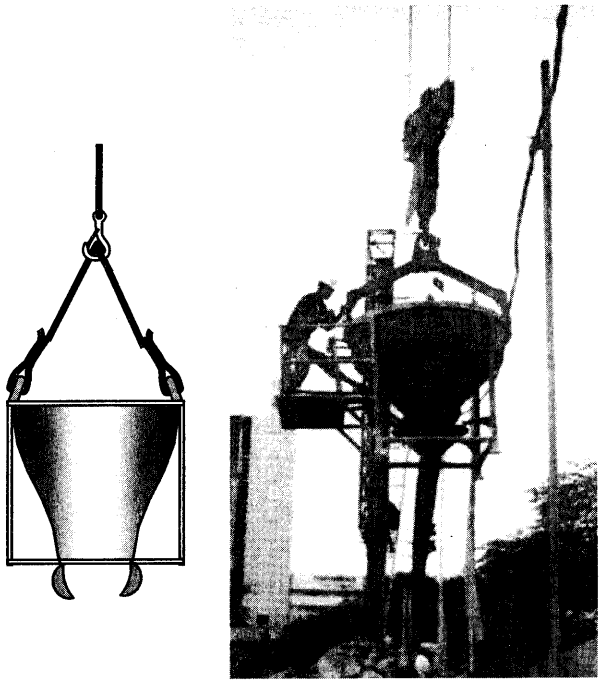
Gerobak dorong. Alat ini sudah banyak digunakan pada proyek-proyek, dengan isi ± 0,2 m³ (gambar 153).



Gambar 6.45. *Pengangkutan beton jenis gerobak dorong*

Gerobak ini ada yang mempunyai dua roda kanan dan kiri sehingga lebih stabil. Ada gerobak dengan dilengkapi dengan mesin penggerak, disebut *power buggies*, dapat berputar 180° dalam 1,50 m, dan dengan bermuatan dapat berjalan menanjak dengan kemiringan 20%. Volume beton yang dapat diangkut 0,3 - 0,4 m³.

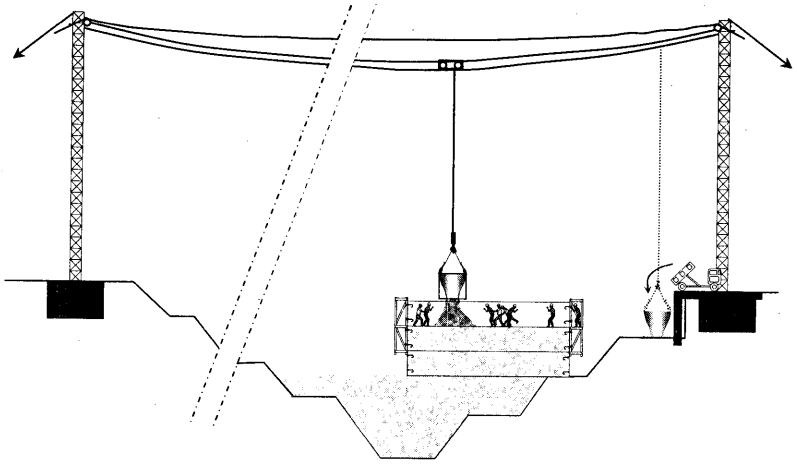
Buckets. *Buckets* mempunyai ukuran yang bermacam-macam, paling kecil ± 0,25 m³ sampai ± 5,00 m³ (gambar 6.46). Dibagian bawah dari *buckets* ada pintu, yang dapat dibuka dan tutup untuk mengeluarkan beton cair. Pada *buckets* ukuran kecil dapat dibuka dan ditutup secara manual, sedangkan *buckets* yang besar untuk membuka dan menutupnya dengan mesin atau dengan tekanan angin (*compressed air*)



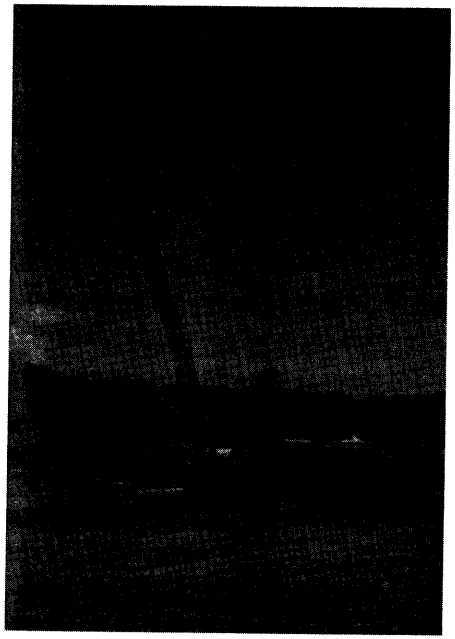
Gambar 6.46. *Bucket untuk pengangkutan beton*

*Bucket*s dapat dioperasikan dengan menggunakan *tower* (*lift*), *crane*, dan *cable way*. Operasi dengan menggunakan *bucket* dan *cable-way* (gambar 6.47, 6.48 dan 6.49), biasanya untuk pekerjaan pengecoran beton pada proyek dengan bentang dan lebar pengecoran yang sangat besar, di mana alat transportasi tidak dapat menuju ke lokasi pengecoran. Metode ini biasanya digunakan untuk pengecoran yang secara massal/*mass concrete* dan perlu cepat, sehingga *bucket* digunakan yang besar kapasitasnya.

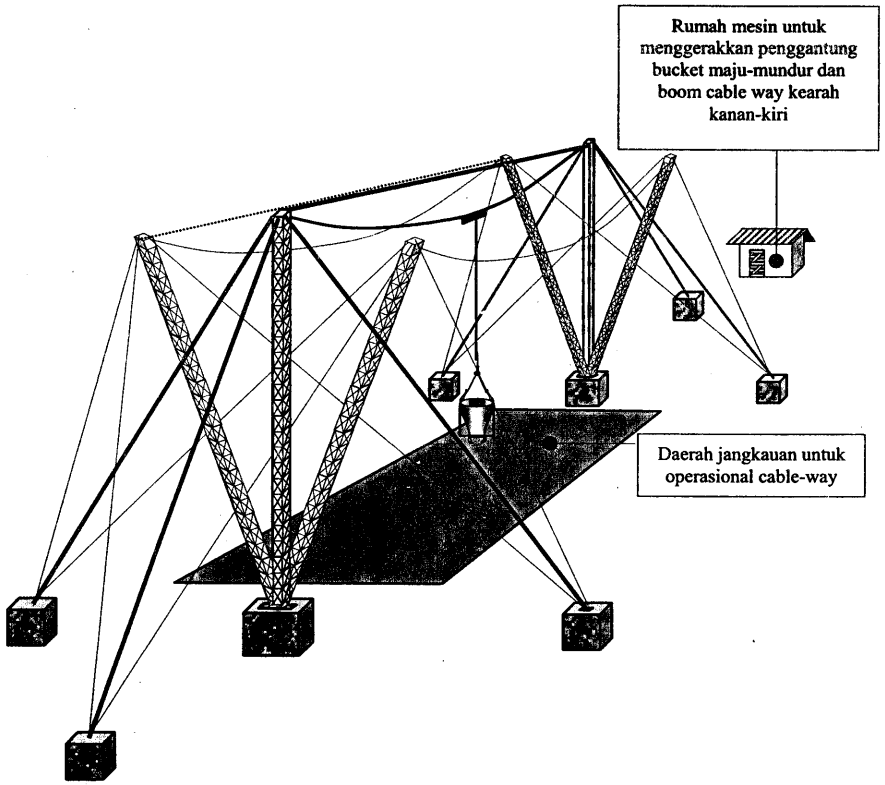
Perhatikan pada gambar 6.47 sebelah kanan, *bucket* diletakan pada platform, untuk diisi beton oleh *dump-truck*, atau dapat juga dengan menggunakan *agitator-truck*. *Tower* dari *cable-way* dapat dimiringkan ± 20° kearah tegak lurus dari arah kabelnya, sehingga *bucket* dapat mencapai lebar bagian yang akan dicor beton.



Gambar 6.47. *Pengangkutan beton dengan cable way dan bucket*



Gambar 6.48. *Cable-way dengan posisi miring, pada Proyek Dam Sampean Baru*



Gambar 6.49. *Ilustrasi cara bekerja cable-way*

Pengangkutan beton dapat juga dengan menggunakan *crane* dan *bucket* (gambar 6.49). Dengan menggunakan *crane*, jika tempatnya cukup luas, akan sangat efisien dan mempercepat pekerjaan. *Crane* dan *bucket*, tidak saja untuk pekerjaan gedung bertingkat banyak, tetapi kadang-kadang juga untuk jenis pekerjaan lain lebih.

Untuk pekerjaan gedung bertingkat banyak, dapat juga dengan menggunakan *tower* dan *bucket* (gambar 6.51), yang bekerjanya seperti lift.

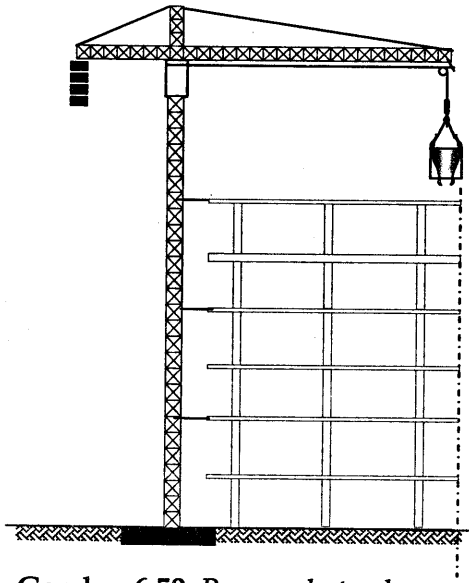
Kelebihan antara *tower* dan *crane* adalah sebagai berikut,

Kelebihan menggunakan *crane* dan *bucket*:

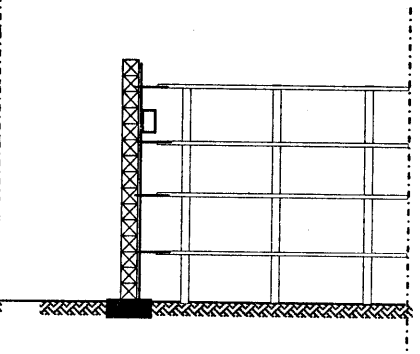
- Lengan *crane* dapat mencapai hampir seluruh bangunan, sehingga peletakan beton dapat dicapai semua dengan *crane*, sehingga penggunaan gerobak dorong dapat seminimal mungkin.
- *Crane* dapat juga digunakan untuk pengangkutan material lain, atau untuk pekerjaan operasional lain.

Kelebihan menggunakan *tower*:

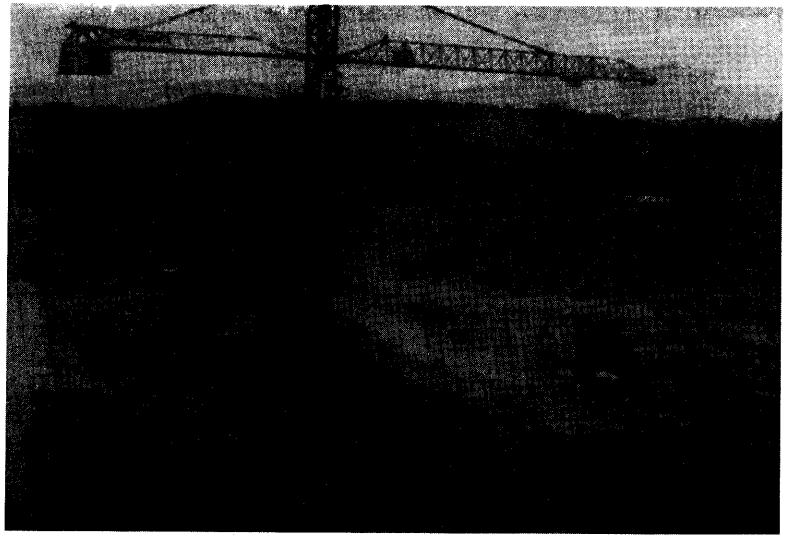
- Biaya *investment* untuk *tower* lebih murah dari *crane*.
- Dengan menggunakan *tower* tidak memerlukan tempat yang luas, sehingga tidak mengganggu lalu lintas untuk *maneuver* dalam proyek.



Gambar 6.50. *Pengangkutan beton cair dengan crane dan bucket*



Gambar 6.51. *Pengangkutan beton cair dengan tower dan bucket (bekerjanya seperti lift)*

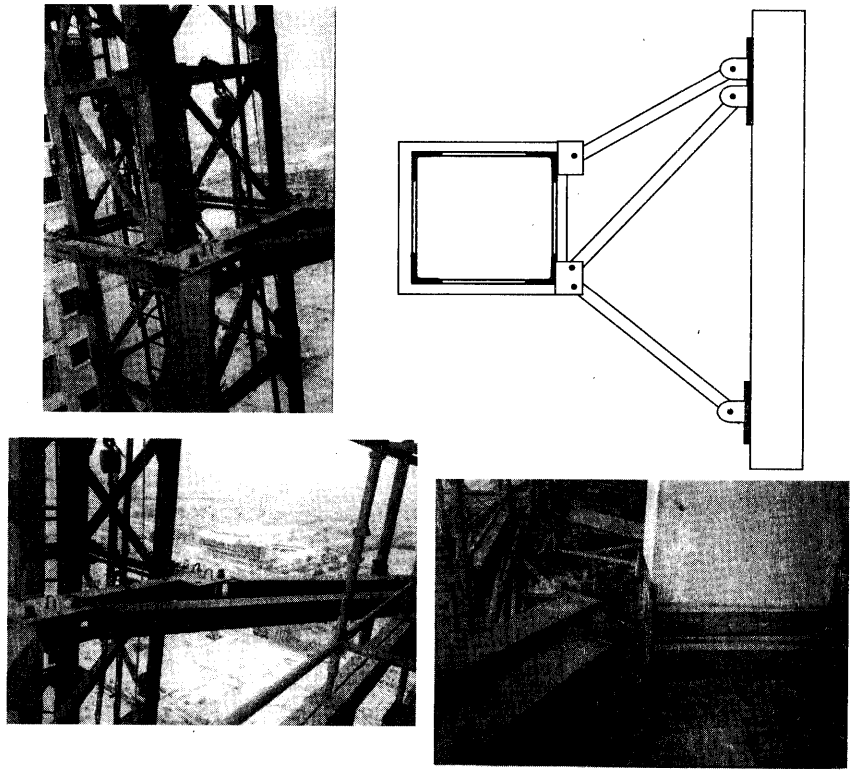


Gambar 6.52. *Pemanfaatan alat bantu crane untuk mobilisasi peralatan di dalam proyek*

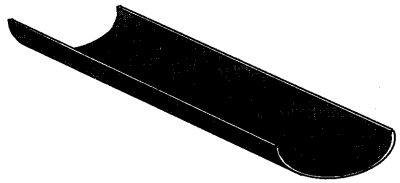
Crane, dapat juga berfungsi sebagai alat angkut untuk keperluan mobilisasi di dalam proyek. *Crane* dalam gambar 6.52 mempunyai kaki bagian bawah yang dimodifikasi di atas lorry, sehingga dapat bergerak untuk menambah luas daerah operasionalnya. Karena *crane* sangat tinggi sehingga sifat tekuknya besar, setiap beberapa lantai harus diikat kuat dengan beton bangunan tersebut (gambar 6.53), sehingga memperkecil sifat kelangsingannya. Tetapi jika *crane* difungsikan seperti dalam gambar 6.52, tidak dapat terlalu tinggi, karena bagian bawah merupakan jepit dan bagian atas bebas, yang berarti panjang tekuknya adalah 2 x L (tinggi *crane*).

Talang peluncuran (*chutes*). Pengangkutan beton dengan menggunakan talang peluncuran tidak dianjurkan karena jika terlalu curam dan panjang akan mengakibatkan kecenderungan segregasi yang terjadi pada sepanjang talang. Kecuali untuk jarak yang pendek dan perbedaan tinggi yang kecil, kurang dari 1,50 meter. Talang peluncuran ini dibuat dari metal dengan bentuk bulat pada bagian

bawahnya. Kemiringan dibuat sedemikian rupa sehingga semua jenis material dapat bergerak meluncur dengan kecepatan yang sama, hal ini akan mengeliminasi segregasi (gambar 6.54).

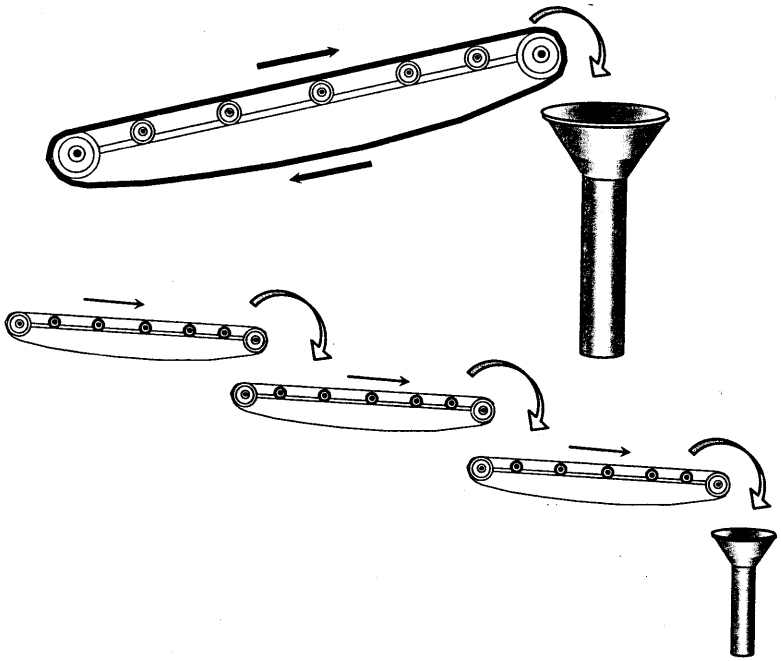


Gambar 6.53. *Cara pengikatan crane dengan bangunan pada setiap dua atau tiga lantai agar memperpendek panjang tekuk*



Gambar 6.54. *Talang peluncuran untuk pengangkutan beton*

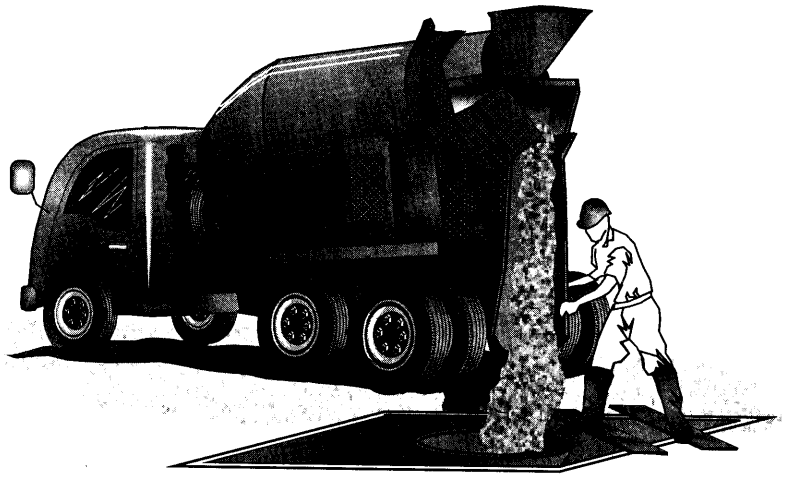
Belt-conveyors. Dalam kondisi tertentu *belt-conveyors* sangat baik untuk pengangkutan beton. Tetapi jatuhnya beton di ujung dapat terjadi segregasi jika jatuhnya lebih dari 1,50 m. Aliran pengangkutan beton dapat secara teratur, dan volume pengangkutan per satuan waktu dapat besar. Untuk mengatasi segregasi maka perlu dibuat *belt-conveyors* secara bertangga, atau pada ujung *belt-conveyors* ditambah dengan menggunakan pipa (gambar 6.55).



Gambar 6.55. *Untuk menghindari jatuhnya beton yang terlalu tinggi, dipasang pipa tremie. Untuk mengurangi tinggi jatuhnya beton dibuat belt-conveyor bertangga*

Agitator trucks. *Agitator trucks* adalah truk yang dipasang *concrete mixer* (gambar 6.56). *Agitator trucks* mengangkut *ready-mixed-concrete* dan beton perlu selalu diaduk selama dalam perjalanan, agar tidak terjadi segregasi. Dengan diaduknya beton dalam waktu perjalanan, yang mungkin akan memerlukan waktu yang lama, maka ada

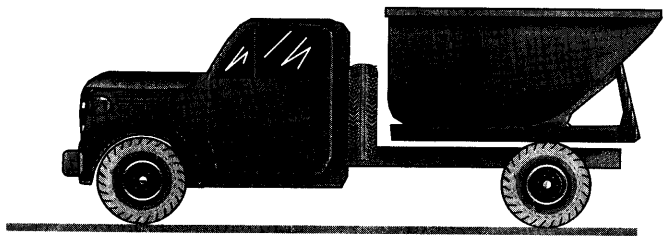
pengaruhnya terhadap beton itu. Dari hasil penyelidikan menunjukkan bahwa dengan pengadukan yang lama dalam perjalanan, akan mengakibatkan menurunnya hasil *tes slump* tetapi akan menaikan kuat tekan beton. Hal ini adalah karena adukan beton cair yang menghasilkan panas akan cepat menguapkan air. Tetapi jika pengadukan melebihi *setting time,* beton akan rusak dan akan berakibat berkurang kekuatan betonnya. *Agitator-truck* ini dilengkapi dengan talang-peluncur yang terpasang di bagian belakang. Beton yang keluar dari drum pengaduk beton, akan ditampung oleh talang peluncur, kemudian dengan beberapa kemungkinan dapat diterima oleh *concrete-pump, bucket, tremie-pipe, belt-conveyors,* talang peluncur lagi tetapi dengan panjang tidak melebihi 1,5 M, atau langsung ke tempat lokasi pengecoran.



Gambar 6.56. *Ilustrasi pengecoran beton dari agitator-truck ke mulut pipa-tremie dengan melalui talang*

Dump-trucks. Ada dua kemungkinan, jika pengangkutan hanya pada jarak yang dekat dan hanya perlu beberapa menit untuk pengangkutan, maka digunakan beton biasa secara umum pengangkutan dapat dilaksanakan dengan menggunakan *dump-trucks.* Tetapi

jika pengangkutan dengan jarak jauh atau memerlukan waktu yang lama, maka perlu menggunakan beton ditambah dengan *admixture* khusus, sehingga tidak terjadi segregasi dan beton belum sampai mulai mengeras, misalnya dengan *air-entrained concrete*. Penggunaan *air-entraining cement* akan membuat tambahan campuran beton dengan udara 3% sampai 6% volume. Udara yang terdapat dalam beton, dalam bentuk partikel-partikel kecil, akan mengurangi kecenderungan beton mengalami segregasi, jadi selama dalam pengangkutan ini tidak memerlukan pengadukan atau menggunakan agitator trucks. Gambar 6.57 adalah *dump truck* khusus untuk pengangkutan beton *air-entrained concrete*, yaitu berupa tangki atau *hopper* dengan kapasitas 1,5 ~ 3 M^3 beton. Di bagian belakang dilengkapi dengan talang peluncuran.



Gambar 6.57. *Sketsa dump truck khusus untuk pengangkutan air-entrained concrete*

Concrete pumps. Dengan *concrete pump* atau pompa beton, beton dapat diangkut melalui pipa besi sampai ke tempat pengecoran. Penggunaan alat ini sangat baik untuk lokasi pengecoran di mana sangat sulit untuk dicapai dengan peralatan atau mesin-mesin untuk pengecoran. Mesin peralatan ini dilengkapi dengan *hopper* dengan pengaduk beton untuk menghindari segregasi. *Concrete pump* untuk menyalurkan beton ini ada beberapa ukuran, *single-cylinder* dengan kapasitas 15 – 20 cu yd per jam, single cylinder dengan kapasitas 25 – 33 cu yd per jam, dan *double-cylinder* dengan kapasitas 50 – 65 cu yd per jam. Ukuran pipa adalah ∅ 6" ∅ 7" dan ∅ 8". Ukuran terbesar dari agregat yang dapat ditampung oleh alat ini adalah 3".

Kemampuan maksimum mesin pompa beton ini dapat mencapai,

- dengan jarak horisontal sampai dengan 1200 ft (± 365 M)
- dengan jarak vertikal sampai dengan 150 ft (± 46 M), atau kira-kira 1 ft *vertikal equivalent* dengan 8 ft horisontal.

Tingkat kekentalan beton sebaiknya dengan *slump 3"*.

6.7 Pembongkaran Cetakan Beton

Pembongkaran cetakan beton dapat dilaksanakan setelah beton mengeras dan sudah mempunyai tegangan tekan yang dipersyaratkan. Tetapi untuk kasus tertentu, misalnya balok beton bagian samping, kolom beton jika plat beton yang harus disangga oleh kolom beton tersebut masih disangga oleh *scaffolding*, bagian-bagian bidang beton yang tidak menyangga beban, tidak perlu harus menunggu sampai beton mempunyai tegangan tekan yang dipersyaratkan. Tegangan tekan yang dipersyaratkan ini untuk beton biasa dapat dicapai pada umur 28 hari, tetapi sekarang sudah ada *admixture* untuk mempersingkat umur sehingga tidak perlu harus menunggu sampai 28 hari sudah mempunyai tegangan tekan yang dipersyaratkan.

Sebelum dicor beton dinding cetakan yang akan menempel beton harus diberi cairan khusus (*shuttering oil*) yang tidak mempengaruhi kekuatan beton yang menempelnya pada waktu pengecoran. Banyak kasus pelaksana bangunan menggunakan minyak oli, hal ini tidak dibenarkan karena akan memperlemah kekokohan beton sekeliling yang menempel cetakan yang diberi minyak oli tersebut. Perlu dipertimbangkan terhadap harga, karena sekarang sudah ada *plywood* yang berlapis film dengan bahan yang tidak melekat pada beton, sehingga beton tidak menempel cetakan setelah mengeras.

Pembongkaran cetakan beton harus dikerjakan oleh yang ahli, sehingga tidak terjadi cacat pada permukaan beton. Diusahakan agar cetakan beton dapat digunakan secara beberapa kali sehingga harga beton per satuan volume lebih murah.

Segera setelah dibongkar, beton selama 6 – 10 hari harus tetap selalu direndam (jika memungkinkan, biasanya pada plat lantai horisontal dengan diberi bendung sekelilingnya dengan *mortar* campuran ringan) atau selalu dalam keadaan basah (biasanya pada dinding-dinding vertikal dengan ditempelkan karung-karung yang selalu harus dibasahi/disirami).

-oo0oo-

7

TIANG PANCANG DAN ALAT PANCANG

Pada dasarnya tiang pancang biasanya berfungsi sebagai pondasi, karena elevasi dari tanah keras yang mampu menahan bangunan tersebut, berada sangat jauh di bawah permukaan tanah. Untuk menyalurkan gaya berat dari bangunan tersebut sampai ke tanah keras yang dimaksud, perlu ada perantaranya yaitu berupa pondasi tiang pancang. Untuk menerima gaya berat (untuk sementara kita sebut sebagai gaya berat, karena ada kemungkinan tiang pancang juga menerima momen, ada kemungkinan juga menerima gaya cabut) tiang pancang harus kuat. Tetapi di sini perlu disebutkan pula bahwa ada tiang pancang yang berfungsi sebagai tirai, yaitu yang jika dipancang akan membentuk tirai atau dinding sehingga dapat untuk menahan air, atau tanah yang lepas, yaitu tanah yang tidak dipadatkan, dan dapat juga di katakan sebagai dinding penahan tanah.

Tiang pancang dapat menahan gaya berat yaitu pada ujung bawahnya (*end bearing point*) yang menumpu pada tanah keras di bawah elevasi permukaan tanah, atau dapat berupa kombinasi, yaitu menumpu pada ujung bawahnya pada tanah keras, ditambah dengan gaya gesekan/*friction* antara permukaan kulit tiang pan-

cang dengan tanah sekeliling tiang pancang. Hal tersebut ada rumus-rumus empiris tertentu untuk menghitung kekuatan kemampuan per tiang pancang yang akan dibahas dalam ilmu mekanika tanah dan ilmu pondasi. Jadi ada tipe pondasi tiang pancang berupa, *friction pile* dan *end-bearing pile.*

7.1 Beberapa Tipe Tiang Pancang

Agak susah untuk membicarakan tipe dari tiang pancang ini. Tetapi akan kita coba dengan menggolong-golongkan dari tiang pancang tersebut, dengan dasar penggunaannya dan dengan dasar bahan dari tiang pancang tersebut.

Dengan dasar penggunaannya dapat dibagi menjadi, *sheet* dan *loading bearing*, atau berupa tirai dan penahan beban. Biasanya yang berupa tirai, kita sebut *sheet piling*, digunakan untuk menahan aliran air atau untuk manahan tanah. Penggunaannya misalnya untuk dinding penahan di bawah *cofferdam* dan di bawah dam, yang biasa disebut sebagai *cutoff walls*, dinding galian atau trench *sheeting* dan lain sebagainya. Dengan dasar bahan dari *sheet piling* tersebut dibuat, dapat dibagi menjadi, *steel, wood* dan *concrete* (besi, kayu dan beton).

Dengan dasar bahan yang dibuat untuk tiang pancang dan metode konstruksi dan pemancangannya, *load-bearing piles* dapat di klasifikasikan, bahan dari kayu, bahan dari beton, bahan dari besi, dan bahan dari *composite*. Tiang pancang dari kayu saat ini kurang digunakan. Tiang pancang dari beton ada yang *precast concrete*, ada pula *cast-in-place concrete*. Tiang pancang *precast concrete* ada yang *prestressed concrete*, ada pula beton biasa (tanpa prategang). Tiang pancang dari besi dapat berbentuk *H beam*, dapat pula berbentuk *steel-pipe*.

Dari banyak tipe tiang pancang tersebut agar dipilih yang sesuai. Dari suatu proyek dengan skala besar biasanya perlu berapa tipe dari tiang pancang tersebut, baik untuk penggunaan sementara maupun yang permanen. Penggunaan tiang pancang ini perlu beberapa faktor yang harus dipertimbangkan, di antaranya,

- berat struktur bangunan yang harus disangga
- keadaan dan kondisi job lay out memungkinkan atau tidak
- kondisi tanah di lapangan dan sifat-sifat tanahnya
- kedalaman dari tanah keras yang harus menerima beban dari tiang pancang
- ketersediaan material tiang pancang
- jumlah tiang pancang yang diperlukan
- biaya sampai di tempat
- ketersediaan alat pancang
- investigasi terhadap air dan tanah, misalnya air dan tanah yang mengandung sulfat akan sangat merusak beton dalam waktu singkat
- konstruksi bangunan yang ada, yang dekat dengan pengaruh rencana pemancangan, dan yang tidak boleh menerima gangguan getaran pemancangan; misalnya pemancangan dekat dengan bangunan-bangunan yang dilindungi pemerintah, contohnya bangunan Mesjid Istiqlal, Monas, Gereja depan stasiun Gambir, Mesjid Cut Mutia, gedung untuk laboratorium dan lain sebagainya.
- kedalaman air di tempat yang akan dipancang.

7.1.1 Tiang pancang kayu (*timber piles*)

Tiang pancang kayu sudah jarang dipakai. Tiang pancang kayu harus selalu diusahakan di bawah elevasi dari permukaan air tanah sehingga terhindar dari serangan serangga. Kayu jati mempunyai kelebihan, mengandung zat racun bagi serangga dan rayap. Bahan tiang pancang kayu dari batang pohon yang panjang, tetapi sekarang sudah sulit untuk mendapatkan batang pohon yang panjang, jadi hanya untuk struktur yang membutuhkan kedalaman

tiang kayu yang pendek saja, misalnya untuk cerucuk suatu pondasi.

Kelebihan/keuntungan dari tiang pancang kayu adalah,

- lebih murah
- pengangkutan lebih mudah dan tidak perlu dikhawatirkan terhadap benturan-benturan
- pemotongan sesuai elevasi yang dikehendaki lebih mudah setelah selesai pemancangan
- jika harus dicabut lebih mudah

Kekurangannya adalah

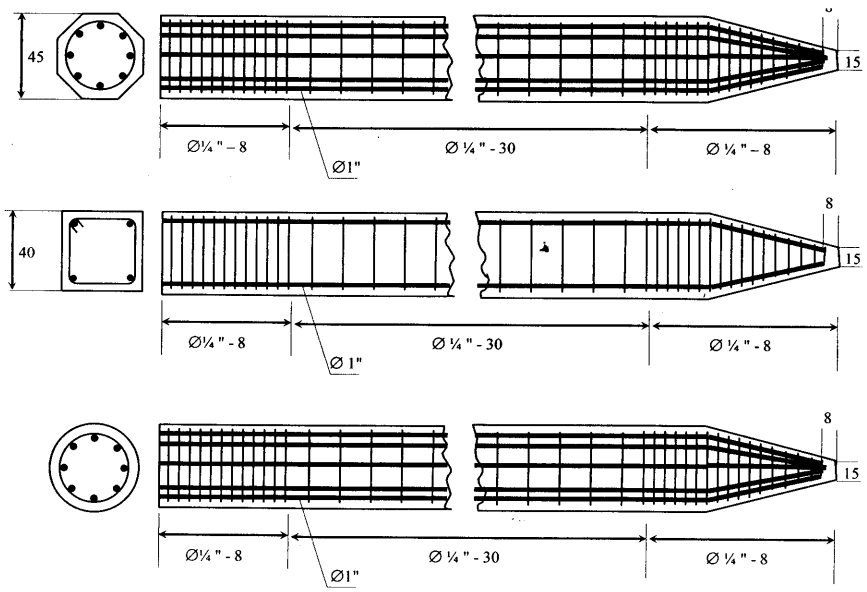
- jika tidak terendam air, atau terletak pada daerah dengan kelembaban tertentu akan mudah terserang serangga pemakan kayu
- susah mendapatkan kayu yang panjang
- susah untuk disambung dengan cukup kuat
- tidak cukup kuat untuk menjadi *end-bearing piles* dengan beban bangunan yang tinggi, walaupun cukup baik untuk *friction pile*
- perlu kayu yang diawetkan.

7.2.1 Tiang pancang beton pra cetak (*precast concrete piles*)

Tiang pancang ini ada yang berbentuk bujur sangkar, octogonal, dan bulat. Pembuatannya dapat di tempat/proyek atau di tempat pabrik pembuatan. Biasanya untuk bentuk bujur sangkar dan beton *octogonal* dicor dengan posisi horisontal, sedangkan untuk bentuk bulat posisi pengecorannya adalah vertikal, sekarang dengan diputar dengan kecepatan tertentu dan *slump* tertentu sehingga selama diputar sudah termasuk dipadatkan. System pengecoran sampai jadi sama dengan bab beton sebelumnya.

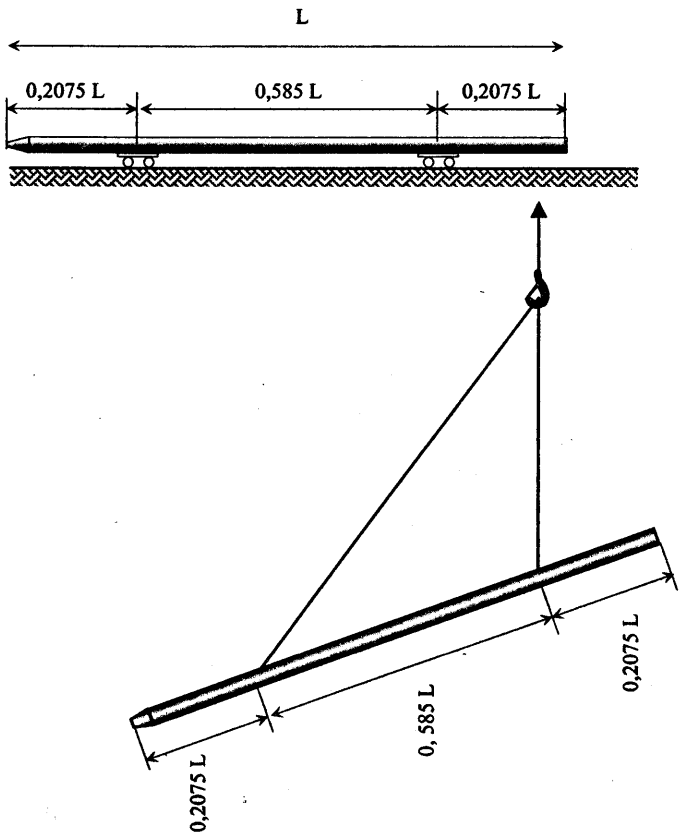
Tiang pancang beton pra cetak ini harus diberi tulangan untuk menghindari rusak dan retak sewaktu proses pengangkutan dari cetakan beton sampai ke tempat posisi pemancangan, dan proses pemancangannya. Untuk besi memanjang harus minimal 2% dari

volume tiang pancang. Untuk besi sengkang paling tidak menggunakan besi Ø ¼" dengan jarak minimal 30 CM, kecuali pada 1 M kedua ujung tiang pancang, dengan jarak 8 CM. Selimut beton paling tidak harus 5 CM.



Gambar 7.1. *Contoh tiang pancang beton pra cetak*

Ada kalanya pembuatan tiang pancang ini dilokasi proyek agar menghemat transportasi, dan sekaligus menghindari benturan-benturan pada waktu pengangkutan. Pengambilan tiang pancang untuk dipasang pada posisi pemancangan harus diperhitungkan terhadap momen karena berat sendiri. Untuk tiang pancang yang panjang perlu diambil dengan beberapa titik, untuk mengurangi panjang tiang yang tidak terdukung.



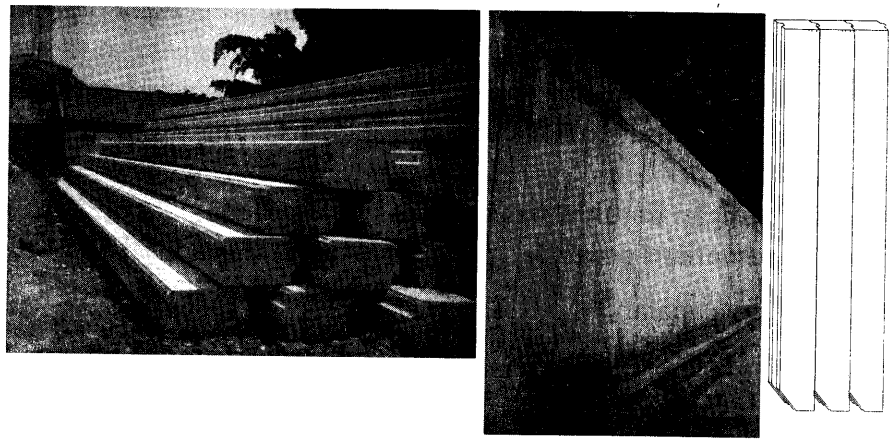
Gambar 7.2. *Cara pengangkutan dengan lori dan pengangkatan oleh alat pancang menuju ke posisi pemancangan*

Kesulitan/kerugian yang dihadapi dengan menggunakan tiang pancang beton pra cetak adalah,

- jika kondisi tanah keras di bawah sangat bervariasi, sehingga perlu banyak pemotongan setelah selesai dipancang, hal ini merupakan pemborosan.
- jika terpaksa harus disambung, karena tanah keras di bawah terlalu dalam maka beton dari ujung-ujung yang akan disambung harus dibongkar dan besinya harus dilas kuat kemudian dicor kembali. Untuk tiang pancang pra tegang sudah disediakan cincin besi pada ujung-ujungnya, kemudian dilas dengan tiang pancang sambungan berikutnya.
- jika menggunakan tiang pancang yang besar, perlu alat pengangkutan yang besar dan mahal
- ada kemungkinan retak/rusak pada waktu pengangkutan
- ada kemungkinan air tanah yang mengandung sulfat akan merusak beton tiang pancang.

Keuntungan menggunakan tiang pancang pra cetak adalah,

- tahan terhadap serangan serangga biologis
- dapat mempunyai tegangan bahan beton yang tinggi
- posisi dapat lebih tepat



Gambar 7.3. *Tiang pancang pra cetak beton dengan bentuk lidah dan alur, berfungsi sebagai dinding penahan tanah.*

7.1.3 Tiang pancang beton cor di tempat (*cast-in-place concrete piles*)

Tiang pancang cor di tempat, artinya pengecoran langsung di dalam tanah dan membiarkan beton dapat mengeras dengan *curing* di dalam tanah. Ada dua metode pelaksanaannya dari tiang pancang cor di tempat ini,

1. Dengan pemancangan pipa besi (*casing*) ke dalam tanah, dan membiarkan tinggal di dalam tanah, dan kemudian pipa besi diisi dengan beton. Pipa besi tertutup pada ujungnya.
2. Dengan pemancangan pipa besi ke dalam tanah dan pipa besi diisi dengan beton, sementara itu *casing* ditarik ke atas.

Dari kedua metode tersebut sekarang sudah banyak modifikasi. Contoh yang terkenal tiang pancang Franki Pile, banyak digunakan di Jakarta.

Keuntungan menggunakan tiang pancang cor di tempat adalah,

1. *Casing* dari besi ringan, dan dapat dipancangkan ke dalam tanah dengan mudah
2. *Casing* dari besi dapat diperpanjang dan diperpendek dengan mudah.
3. Pengangkutan *casing* sangat mudah karena *casing* pendek, dan dapat disetel untuk menjadi panjang yang diinginkan di lapangan.
4. Penulangan untuk pengangkutan tidak perlu lagi.
5. Kekhawatiran pecah pada pengangkutan tidak ada.

Kerugiannya adalah,

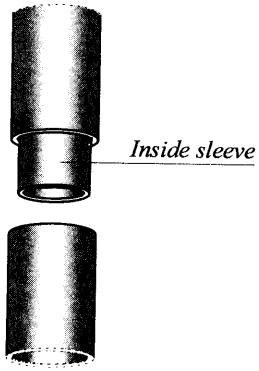
1. Jika ada pergerakan tanah, tiang pancang yang tanpa tulangan akan patah
2. Tiang pancang yang tidak memakai tulangan atau tanpa *casing* besi, tidak dapat untuk menahan gaya tarik.
3. Pada ujung bagian bawah dari tiang pancang ini tidak pada posisi yang simetris.

Ada juga jenis tiang pancang ini yang diperkuat dengan penulangan besi beton, sehingga dapat menahan lenturan dan geser.

7.1.4 Tiang pancang pipa besi (*steel-pipe piles*)

Tiang pancang ini dari besi dan pada ujung bawahnya bisa ditutup dengan plat besi atau dibuat runcing, tetapi dapat juga

tanpa penutup pada ujung bawahnya. Diameter pipa bervariasi, dari 6" sampai dengan 30" atau bahkan lebih. Dan juga panjangnya bervariasi, (untuk sambungan, untuk mencukupi panjang yang ditentukan). Pipa ini dipancangkan ke dalam tanah sampai kedalaman yang sudah ditentukan, dan kemudian dapat diisi dengan pasir atau dapat juga diisi dengan beton, sesuai dengan perencanaannya. Pipa yang tertutup pada ujung bawahnya dipancang dengan *pile hammer*, dengan ujung atasnya dilapisi kayu setebal 15 CM agar pinggir pipa besi tidak rusak karena pukulan *pile hammer*. Penyambungan dapat dengan cara dilas, dapat juga penyambungannya dengan diberi selongsongan (*inside sleeve*) untuk setiap sambungan (gambar 7.4). Tiang pancang pipa besi ini relatif lebih ringan dari tiang pancang dari beton. Untuk pemancangan di laut, misalnya pondasi dermaga atau bangunan di tengah laut, yang pemancangannya menggunakan *pontoon*, sangat cocok karena pipa besi ini ringan. Kemudahan lainnya adalah sewaktu pemasangan cetakan beton di atasnya, landasan dan ikatan-ikatan untuk cetakan beton dapat dipasang pada pipa besi dengan cara dilas. Dermaga beton di Sorong menggunakan pondasi tiang pancang besi tertutup di bawahnya, dan diisi dengan pasir, dan 1,5 M pada ujung atasnya dicor dengan beton untuk pemasangan stek besi beton. Tiang pancang ini dirawat terhadap karat dengan menggunakan alat cathodic protection.



Gambar 7.4. *Penyambungan tiang pancang pipa besi, dengan memakai inside sleeve (selongsongan pada bagian dalam)*

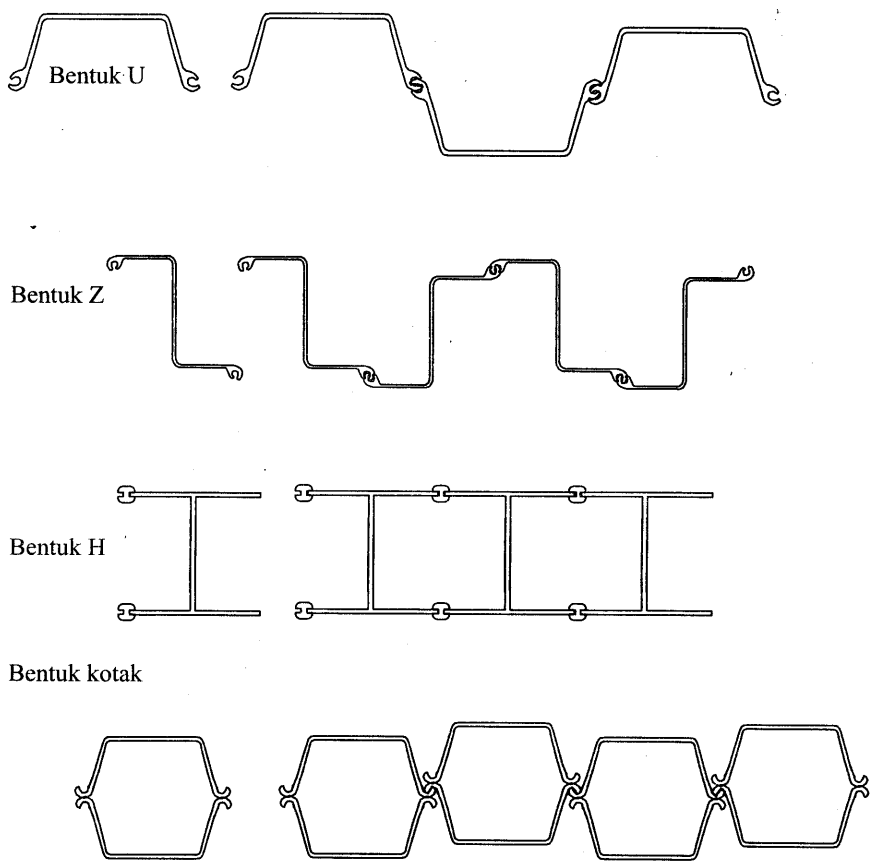
Metode lain yaitu, tiang pancang pipa besi yang terbuka bagian bawahnya, setelah dipancang ke dalam tanah sesuai kedalaman yang ditentukan, tanah di dalam pipa besi dikeluarkan dengan jalan disemprotkan air dan tekanan angin dari *compressor*, atau dengan dibor tanah di dalam pipa besi tersebut. Kemudian di dalam pipa tersebut dapat diisi dengan bahan sesuai rencana, misalnya diisi dengan bahan beton. Pemancangan dapat lebih ringan, karena pipa pada ujung bawahnya terbuka, sehingga berkurang tahanannya, dengan demikian dapat menggunakan *pile hammer* yang kecil saja.

7.1.5 Tiang pancang besi (*steel piles*)

Tiang pancang besi ini, misalnya besi H beam, dapat digunakan pada pondasi yang memerlukan pemancangan yang sangat dalam. *H beam* dapat dipancang menembus tanah yang sangat keras, sampai kedalaman tertentu. Tiang pancang besi ini dapat dipancang sampai kedalaman di mana tiang pancang lain tidak bisa mencapainya. Hal ini dapat digunakan misalnya pada pondasi pilar jembatan, untuk menghindari bahaya gerusan air.

Steel sheet piles

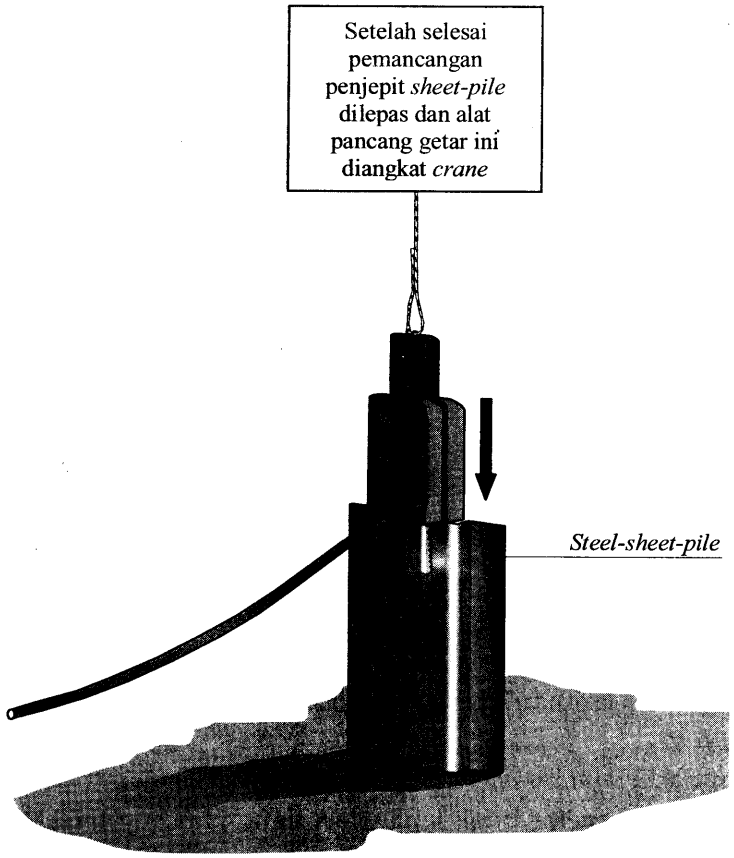
Tiang pancang yang berbentuk lembaran ini, berupa profil dari baja, yang biasanya lebih berfungsi sebagai turap. Ada beberapa bentuk seperti pada gambar 7.5. Bentuk-bentuk lain sangat bervariasi, baik bentuk, ukuran maupun tebalnya. *Steel sheet piles* ini sangat praktis untuk beberapa maksud dari metode pelaksanaan dalam pembangunan, misalnya untuk pekerjaan bendung air sementara pembuatan suatu pilar jembatan, pembuatan pekerjaan sementara dinding penahan tanah. Sambungan-sambungannya sangat rapat sehingga air tanah hampir dapat terbendung dengan *steel sheet piles* ini. Karena bahan dari besi maka untuk beberapa maksud dalam pelaksanaan dapat dilas. Pemancangannya dapat dengan tipe *hammer* yang kecil, dan paling praktis yaitu dengan *vibratory pile drivers*, dengan diberi beban pada ujung atas dari *steel sheet piles* dan kemudian digetarkan (gambar 7.6).



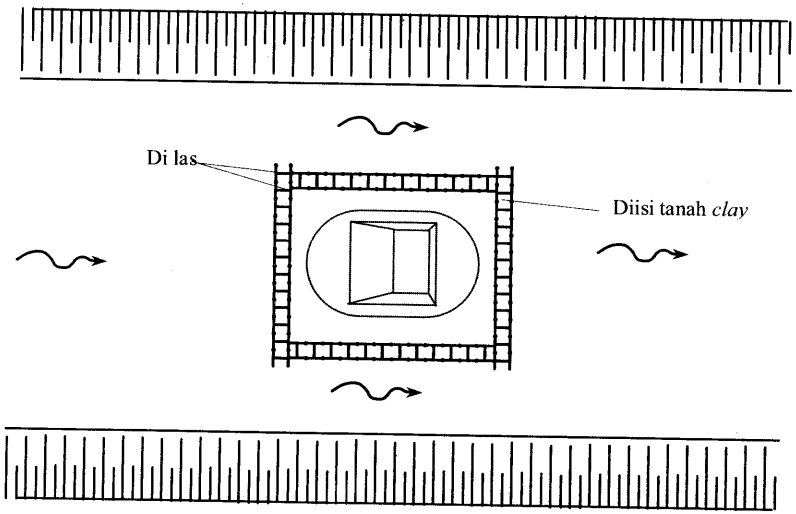
Gambar 7.5. *Beberapa bentuk steel-sheet-piles*

Beban dari *vibratory pile driver* ada pada alat penjepitnya, sehingga sewaktu menggetar tidak lepas dari tiang pancang tersebut. Tenaga penggetar adalah dengan tekanan angin dari *compressor*, dengan melalui *flexible hose*, atau dengan tenaga listrik, sehingga pemindahan beban pancang getar dari titik *sheet piles* yang satu ke yang lain sangat mudah. Jika untuk maksud membendung air, misalnya

dalam kasus pembuatan pilar tengah jembatan, maka perlu ada dua lapis deretan *steel sheet piles* membentuk segi tertutup, dan ditengahnya diberi tanah yang bersifat *clay* dan dipadatkan (gambar 7.7). Atau dapat juga dengan bentuk H yang diisi tanah *clay* pada bagian yang kosong. Tanah *clay* atau lempung di sini berfungsi untuk membendung air, karena tanah jenis *clay* yang padat sangat kedap air.



Gambar 7.6. *Sketsa vibratory pile driver untuk pemancanga steel sheet pile*



Gambar 7.7. *Kasus membendung air dengan steel-sheet-piles, untuk rencana mengerjakan pilar di tengah sungai*

Beberapa Jenis Alat Pancang (*Pile hammers/Pile Drivers*)

Fungsi dari *pile hammer* adalah memberikan energi yang diperlukan untuk memancang tiang pancang. Beberapa jenis dari alat pancang adalah,

1. *Drop*
2. *Single-acting steam*
3. *Double-acting steam*
4. *Differential-acting steam*
5. *Diesel*

Dari 4 jenis yang di atas sudah banyak yang ditinggalkan. Sekarang banyak menggunakan *diesel hammers*. Mesin tipe ini sangat praktis dibanding dengan tipe yang lain. Semua unit untuk gerakan pemancangan sudah di dalam mesin ini, jadi tidak memerlukan unit energi lain. Dengan demikian dengan alat pancang ini mudah untuk *manouver* dan mudah untuk berpindah dari tempat

titik pemancangan yang satu ke titik pemancangan yang lain. Unit mesin ini terdiri dari silinder, torak/ram/beban, landasan, tangki minyak pelumas/*lubricating oil*, tangki bahan bakar, pompa bahan bakar, *injectors*, dan *mechanical lubricator*.

Cara kerjanya adalah sebagai berikut, *hammer* diletakan di ujung atas dari tiang pancang. Kemudian kombinasi *piston* dan beban/ram ditarik ke atas, sampai ujung atas dari langkah/*stroke*, kemudian dilepas untuk mulai operasi mesin tersebut. Kemudian sewaktu beban/*piston* sudah dekat dengan bagian bawah dari langkah, pompa dari bahan bakar menyemprot bahan bakar ke dalam ruang bahan bakar, yang terletak antara beban dan landasan. Dan perjalanan langkah ke bawah ini akan memampatkan udara dan bahan bakar sehingga terjadi penyalaan panas. Dan peledakan ini akan memukul tiang pancang ke bawah, sedangkan beban/*piston* akan bergerak ke atas, untuk mengulangi langkah berikutnya. Saat sekarang sudah banyak model, sehingga mempunyai spesifikasi yang berlain-lainan. Banyak kelebihan dari *diesel hammer*s ini dibandingkan dengan alat pancang yang lainnya, di antaranya adalah,

a. Alat pancang ini lebih mudah untuk *manouver* dan lebih cepat dalam operasinya.
b. Dapat lebih mudah untuk operasi di daearah pedalaman.
c. Perawatan *diesel hammer*s lebih mudah dan lebih cepat.
d. Energy tiap pukulan akan bertambah dengan bertambahnya tahanan pada tiang pancang.
e. Karena tahanan dari tiang pancang diperlukan untuk kesinambungan dari operasinya, jika tiang pancang pada bagian yang kontak dengan *hammer* mengalami pecah, maka mesin ini akan berhenti.

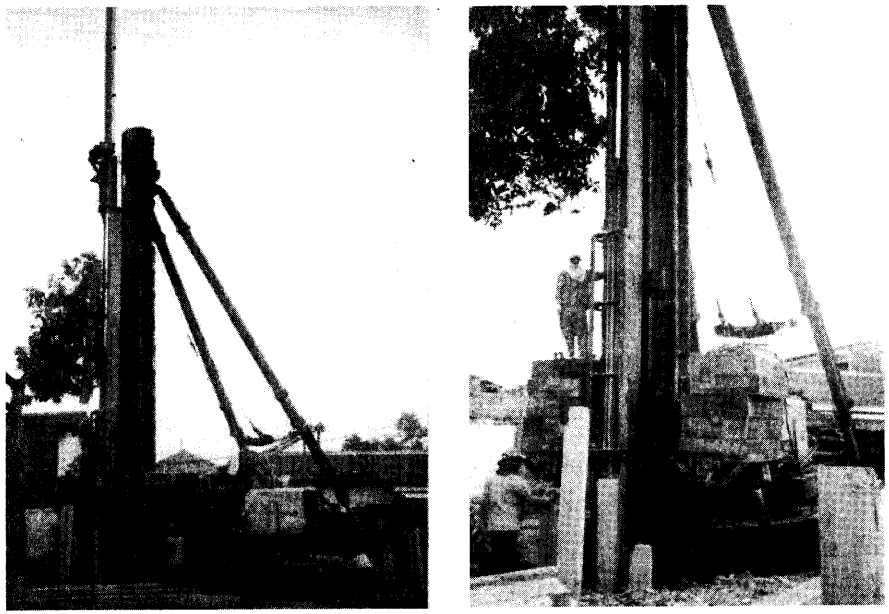
Alat pancang *diesel hammer*s ini juga mempunyai beberapa kekurangan, di antaranya adalah,

a. Untuk menentukan energi per *blow* dari mesin pancang ini sangat tidak menentu, karena ketinggian di mana *piston* bergerak ke atas setelah peledakan dari bahan bakarnya di dalam ruang bakar, sangat tergantung dengan tahanan dari pemancangan. Jika tahanan pemancangan sangat kecil sehingga tiang pancang turun banyak sewaktu terjadi peledakan, maka *piston* akan bergerak ke atas (setelah peledakan) dengan ketinggian yang sangat kecil. Dengan demikian sangat sulit untuk menentukan rumus *dynamic pile-driving* dari mesin pancang ini.
b. Dari butir 1 di atas maka mesin pancang ini tidak dapat beroperasi dengan baik untuk pemancangan pada daerah di mana tanahnya sangat lunak.

***Vibratory pile drivers*/mesin pancang dengan getaran (gambar 7.6)**

Dengan mesin pancang ini sangat cocok untuk tanah yang *non cohesive* dan jenuh dengan air. Untuk tanah yang sangat *cohesive*, dengan menggunakan alat ini sangat sulit untuk memancangnya. Alat ini dilengkapi dengan poros-poros horisontal dan dilengkapi dengan beban-beban *eccentric*, sehingga akan menimbulkan getaran jika poros ini berputar. Poros-poros ini berpasang-pasangan dan berputar dengan arah yang berlawanan, dengan kecepatan sampai 1000 rpm, sehingga akan menimbulkan gaya yang ditimbulkan oleh beban-beban berputar, berupa getaran yang diteruskan ke bagian atas dari tiang pancang, dan kemudian diteruskan ke tanah sekitar tiang pancang. Gerak getaran tanah ini akan mengurangi daya lekat antara tanah dengan tiang pancang, terutama jika tanah dalam keadaan yang sangat jenuh air. Beban kombinasi berupa berat tiang pancang itu sendiri dengan beban getaran dari mesin pancang akan mempercepat pemancangannya.

Alat pancang dengan ditekan untuk tiang pancang yang kecil



Gambar 7.8. *Pengambilan tiang pancang (gambar kiri); Penekanan tiang pancang (gambar kanan). Tiang pancang berukuran kecil bentuk penampang segi tiga*

-oo0oo-

8

FOUNDATION GROUTING

Pada dasarnya semua bangunan memerlukan pondasi. Tanah tempat bangunan berdiri juga merupakan pondasi bagi bangunan tersebut. Padahal lapisan tanah dan batuan yang terletak di bawah bangunan bukan merupakan lapisan yang padat. Pada lapisan tersebut kebanyakan selalu terdapat retak-retak, lobang-lobang, dan celah-celah, yang mana lapisan ini tidak cukup kuat daya dukungnya, ataupun tidak cocok untuk melandasi suatu bangunan, misalnya, dam, resevoir, pilar jembatan, terowongan ataupun bangunan-bangunan lainnya. Selain dari pada itu, jika terdapat air tanah pada lapisan tanah tersebut, kemungkinan dapat mempengaruhi yang kurang baik terhadap bangunan tersebut, ataupun dapat mengganggu dalam proses pembangunannya. Untuk itu sebelum ditentukan lokasi pembuatan bangunan, perlu adanya penyelidikan tanah, sehingga dapat ditentukan dengan perbaikan tanah tersebut. Tetapi ada kemungkinan bahwa perbaikan tanah tersebut sangat tidak memungkinkan atau sangat mahal, maka perencana perlu mempertimbangkan dengan memindah bangunan ke lokasi yang baru.

Untuk mengatasi kondisi tanah yang kurang baik seperti disebutkan di atas, maka perlu diadakan perbaikan di dalam lapisan

tanah tersebut dengan *grouting*. *Grouting* di sini adalah merupakan pekerjaan memasukan bahan yang masih dalam keadaan cair untuk perbaikan tanah, dengan cara tekanan, sehingga bahan tersebut akan mengisi semua retak-retak dan lubang-lubang, kemudian setelah beberapa saat bahan tersebut akan mengeras, dan menjadi satu kesatuan dengan lapisan tanah yang ada. Bahan tersebut dapat berupa semen, semen dan pasir, *bentonite*, aspal dan lain-lain.

Di sini akan kita bicarakan masalah *grouting*, dengan beberapa maksud, seperti,

a. Untuk memperkuat formasi dari lapisan tanah dan sekaligus menjadikan lapisan tanah tersebut menjadi padat, sehingga mampu untuk mendukung beban bangunan yang direncanakan. Seperti sudah dijelaskan di atas tanah selalu mempunyai lubang-lubang, retak-retak, dan celah-celah. Rongga-rongga ini perlu diisi dengan bahan pengisi yang kuat, sehingga lapisan tanah di bawah rencana bangunan akan menjadi bagian dari pondasi yang kuat.
b. Untuk menahan aliran air, misalnya pada bangunan dam, agar air tidak mengalir melalui bawah dari bangunan dam. Air yang mengalir di bawah bangunan dam secara bertahun-tahun akan membawa partikel-partikael tanah, yang akan mengakibatkan terjadinya rongga-rongga di bawah bangunan, dan hal ini akan membahayakan kestabilan dari bangunan dam tersebut.
c. Untuk menahan aliran air tanah agar tidak masuk ke dalam suatu kegiatan bangunan yang sedang berjalan. Bangunan di bawah permukaan tanah jika lokasinya di bawah elevasi permukaan air tanah, akan selalu terganggu oleh kehadiran air tanah yang keluar dari dinding galian. Hal ini, perlu dicegah dengan membuat rapat formasi tanah sehingga mengurangi air tanah masuk ke dalam galian. Namun biasanya masih terdapat air tanah yang keluar tetapi masih dapat di atasi dengan pompa permukaan dan pompa celup (*submersible pump*)

d. Untuk mengurangi gaya tekan ke atas dari air pada bagian bawah dari bangunan dam. Jika diperhitungkan secara hukum Pascal, dengan tinggi air pada dam, dan dengan luas permukaan dasar dam, maka akan menjadi gaya tekan ke atas yang sangat berarti untuk dimasukan ke dalam perhitungan kestabilan dari dam tersebut.

8.1 *Grouting* dalam Pelaksanaan

Biasanya untuk mendapatkan data dan contoh dari lapisan di bawah tanah adalah dengan menggunakan *core drill*, yang dilakukan di tempat bagian dalam tanah yang direncanakan untuk menerima beban dari bangunan. Ada dua macam *core drill*, untuk diameter yang kecil, dan ada yang untuk diameter besar disebut *shot drill*. Diameter besar dapat sampai lebih dari 75 CM, sehingga diharapkan orang masih dapat masuk, dan melihat formasi dari lapisan tanah, selain juga mendapatkan tanah dari hasil *core drill* tersebut. Cara untuk mendapatkan tanah ini dapat dilaksanakan pada beberapa tempat dengan jumlah tertentu yang ditentukan oleh ahlinya/*foundation engineer*. Untuk perkiraan sementara secara kasar, dapat juga diperkirakan dengan cara memasukkan air dengan tekanan ke dalam lubang bor tanah, dengan melalui pipa ± Ø 2″ dengan panjang sesuai kebutuhannya, yang tertutup rapat dengan lubang tanahnya, biasanya dengan seal dari karet. Dengan memasukan air tersebut, jika laju aliran air berkurang secara cepat dan terjadi penambahan tekanan airnya (dilihat pada *pressure gauge*), ini dapat diartikan retakan-retakan tanahnya sangat sedikit dan dapat diperbaiki dengan *cement grout*. Tetapi jika terjadi sebaliknya, di mana laju aliran airnya tetap besar, dengan hanya sedikit atau tidak ada penambahan tekanan, ini menunjukkan formasi tanah yang sangat *poreus*, dan retakan-retakan tanah yang besar. Di sini perlu *grout* dengan jumlah bahan yang banyak.

Bahan *grout* biasaanya adalah,

1. Campuran semen dan air
2. Campuran semen, abu batu, dan air
3. Campuran semen, *clay*, dan air
4. Campuran semen, *clay*, pasir, dan air
5. *Asphalt*
6. Campuran *clay* dan air
7. Campuran bahan kimia

Sangat susah untuk memperkirakan secara pasti dari campuran-campuran seperti di atas. Dari beberapa lubang bor digunakan campuran yang berbeda-beda. Campuran jika dari hasil tes dengan tekanan air menunjukkan sangat kecil retakan-retakan dan tanah kurang *poreus* maka dapat dengan menggunakan campuran perbandingan volume 10 bagian air dengan 1 bagian semen agar dapat masuk kecelah-celah yang sempit di dalam tanah. Jika retakan atau celah-celah dalam tanah agak besar dan tanah sangat *poreus*, maka campuran bisa 1 bagian air dengan 1 bagian semen atau bahkan dapat lebih kental lagi yaitu ¾ bagian air dengan 1 bagian semen.

Campuran yang digunakan pada retakan-retakan yang sempit dapat dengan menggunakan abu batu dan semen agar lebih murah, tetapi untuk tanah dengan retakan-retakan yang lebar dapat dengan ditambahkan pasir. Kadang-kadang perlu merubah sifat dari bahan *grout* dengan menambah bahan *admixture* seperti pada tabel 8.1. *Grout* dengan hanya menggunakan semen saja akan lebih kuat dari pada *grout* dengan menggunakan semen yang dicampur dengan pasir atau *clay*.

Setelah diadakan investigasi dan ditentukan perkiraan kebutuhan volume dari *grouting*, kemudian harus ditentukan pola pengeboran untuk injeksi. Besar diameter lubang bor, kedalaman pengeboran, dan jarak dari pengeboran harus ditentukan dengan memperhitungkan biaya. Selama dalam pelaksanaan injeksi, kadang-kadang kondisi tanah pondasi bawah tidak sesuai dengan

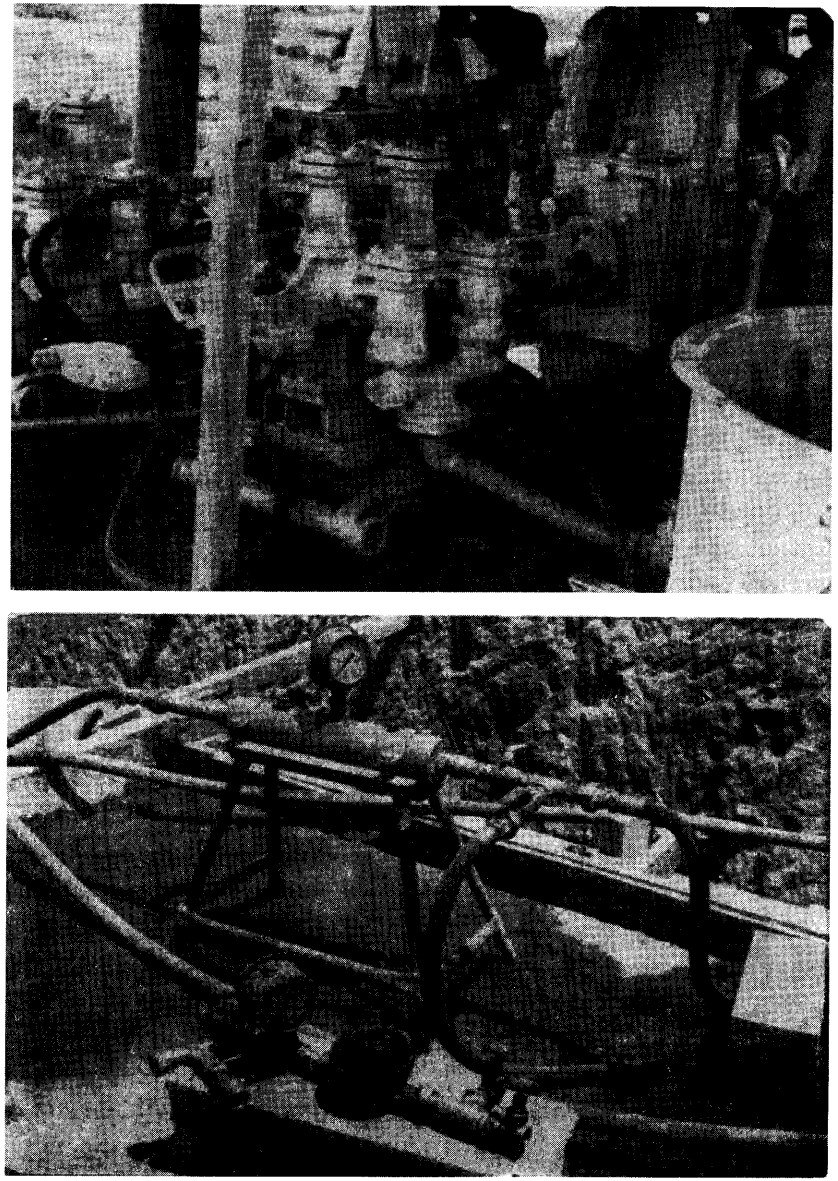
hasil investigasi, sehingga dari waktu ke waktu kadang-kadang selalu harus diadakan perubahan pola pengeboran. Kedalaman pengeboran harus dilihat fungsi dari *grouting* tersebut, untuk fungsi sebagai tirai mencegah aliran air di bawah pada pekerjaan dam, maka kedalaman pengeboran dapat mencapai 20 - 60 M. Untuk pekerjaan Dam Sampean Baru di Jawa Timur dengan menggunakan pola pengeboran dengan jarak 6 - 10 M, dengan lubang bor Ø 2 ¾ " dan kedalaman 10 - 20 M, dengan menggunakan bahan campuran semen dan air.

Tabel 8.1. *Beberapa perubahan sifat dari semen grout jika ditambahkan admixture*

Admixture/**Bahan Tambah**	**Sifat dari semen** *grout*
Calcium chloride Sodium hydroxyd Sodium silicate	Mempercepat *setting time*
Gypsum Lime sugar Sodium tannate	Menunda *setting time*
Finely ground *bentonite*	Menambah *palstikity* Mengurangi penyusutan *grout*
Clay *Ground shale/mudstone*/batu lumpur *Rock flour*	Mengurangi nilai harga *grout* Mengurangi kekuatan *grout*

Sumber dari Peurifoy , *Construction Planning, Equipment, and Methods.*

Karena pekerjaan *grout* ini sebenarnya adalah pekerjaan yang tidak dapat dipastikan karena di dalam tanah yang beragam teksture nya kita tidak dapat mendeteksi secara cermat. Tetapi kita tetap harus berusaha untuk mendeteksi apakah pekerjaan *grout* di dalam tanah yang sudah dikerjakan dapat dikatakan baik atau semua retakan dan celah-celah sudah tertutup semua, dengan cara melihat *pressure gauge*.



Gambar 8.1. *Mesin pompa untuk pelaksanaan cement grout di proyek Dam Sampean Baru, Jawa Timur (atas). Dalam pemompaan tekanan harus selalu dikontrol melalui gauge (bawah)*

Beberapa lubang bor untuk injeksi dibiarkan tetap terbuka, sehingga dengan demikian kita bisa melihat apakah *grout* akan tampak di dalam lubang-lubang bor tersebut. Dengan adanya bahan *grout* di dalam lubang-lubang bor tersebut, maka kita dapat memperkirakan laju aliran *grout*.

Untuk mengetahui tanah yang sudah selesai diinjeksi, kita dapat juga membuat beberapa lubang bor pada beberapa lokasi tersebut, sehingga dapat mengetahui formasi dari bagian dalam tanah daerah tersebut, apakah sudah terisi semua lubang-lubang, dan retakan-retakannya.

Untuk mengetahui keberhasilan dari pekerjaan *grout* dapat juga dengan beberapa lubang bor tersebut diinjeksi dengan air atau dengan *grout*. Jika lubang-lubang ini dengan tekanan pompa *grout* tidak mengalir, maka menunjukkan formasi tanah telah terkonsolidasi dengan baik.

Pada formasi tanah yang banyak retakan-retakan dan lubang-lubang di mana ada air yang mengalir melalui retakan-retakan tersebut, maka akan tidak mungkin menggunakan *grout* dengan bahan semen, karena bahan semen tidak sempat untuk berkonsolidasi sudah terbawa air melalui lubang retakan-retakan tersebut. Untuk mengatasi hal tersebut dengan cara diinjeksi *asphalt grout*, maka lubang dari retakan-retakan pada tanah akan terisi dan aliran air akan berkurang atau terhenti sama sekali. Setelah aliran air terhenti atau mengecil maka dapat dilanjutkan dengan injeksi *grout* dengan bahan semen. Jadi fungsi dari *asphalt grout* adalah untuk menghentikan aliran air di dalam retakan-retakan, agar *cement grout* dapat bertahan di dalam retakan-retakan tersebut. Metode pelaksanaan *asphalt grout* adalah dengan menginjeksi *asphalt* panas melalui pipa yang berlubang-lubang (*perforated pipe*) ke dalam tanah, yang mana di dalamnya ada jalur pipa steam line, dengan maksud agar *asphalt* tetap panas sampai mengalir masuk ke retakan-retakan. Cara lain adalah dengan memasukkan *electric wire* di dalam *per-*

forated pipe. Temperatur dari *asphalt grout* bervariasi sekitar 150° - 170°C dengan kecepatan aliran 1 - 1,5 M^3 per jam.

Peralatan yang diperlukan untuk injeksi *asphalt grout* adalah,

1. Ketel pemanas (*Heating kettle*)
2. Pompa torak (*piston-tipe pump*)
3. *Compressor*
4. Sumber aliran listrik
5. Selang (*Pipe hose*)
6. Katup (*Valves*)
7. Manometer (*pressure gauge*)

-oo0oo-

9

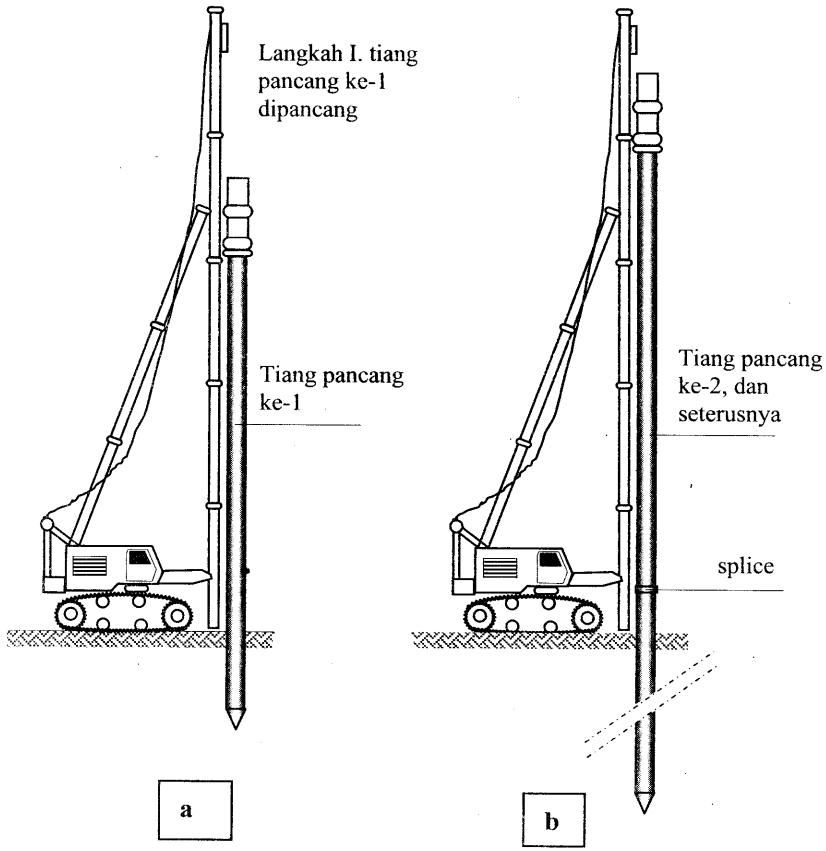
KASUS PEMBANGUNAN JALAN LAYANG KERETA API DI JABOTABEK

Kasus pembangunan Jalan Layang Kereta Api yang dimaksud di sini adalah metode pelaksanaan pembangunan Jalan Layang Kereta Api di Jakarta, *section* stasiun Gambir sampai dengan persimpangan dengan jalan Juanda dan *section* Gondangdia sampai dengan persimpangan dengan jalan Cilacap/ stasiun Cikini. Karena penekanan pada metode pelaksanaan untuk itu banyak gambar-gambar yang disajikan tidak berskala. Pelaksanaan pembangunan dimulai dari pemancangan tiang pancang beton, penggalian tanah untuk *pile-cap* (*poer*), pengecoran beton *pile-cap*, cetakan beton pilar jembatan, pengecoran pilar jembatan, dan pemasangan atau peluncuran *balok-girder* pada kolom-kolom. Tetapi untuk pemancangan tiang pancang beton, penggalian tanah, pengecoran beton *pile-cap*, cetakan beton pilar jembatan, dan pengecoran pilar jembatan tidak disajikan secara detail, karena dalam bab-bab terdahulu sudah dijelaskan tentang hal-hal tersebut. Cara pemasangan atau peluncuran *balok-girder* pada kolom-kolom ada beberapa metode, tetapi yang kami sajikan di sini adalah pemasangan dengan metode bantuan *balok-girder* baja (*steel box girder*), yang dimulai dari pengangkutan segmen-segmen balok beton,

penarikan kabel baja (*post tension*), dan peletakan *balok-girder* pada kolom. Pembangunan ini di Jakarta pada tahun 1990, dari Departemen Perhubungan, dan pelaksana oleh Nindya-Kumagai-PSC Joint Operation.

9.1 Pemancangan Tiang Pancang Beton

Jalur dari pekerjaan pembangunan Jalan Layang Kereta Api ini melalui daerah-daerah yang rawan. Sebagai contoh daerah yang rawan adalah daerah yang sangat dekat dengan perumahan, kantor, dan laboratorium klinik, di mana dampak dari getaran karena pemancangan dan debu sangat berpengaruh. Selain itu juga melewati bangunan-bangunan yang dilindungi oleh pemerintah, yaitu Masjid Istiqlal, di mana dampak dari getaran karena pemancangan tidak diperkenankan dan polusi suara karena kereta yang nantinya lewat didekat Masjid Istiqlal. Didaerah perumahan dan perkantoran diadakan opname setiap bangunan sebelum dan sesudah pemancangan selesai, yang nantinya diadakan perbaikan jika terjadi kerusakan. Didekat Masjid Istiqlal pembuatan pondasi terpaksa dengan menggunakan bor pile untuk menghindari getaran pada waktu pemancangan. Untuk menanggulangi polusi suara didekat Masjid Istiqlal, di samping *balok-girder*, dibuat parapet dari beton, sehingga suara kereta yang lewat dapat terredam. Perlu perhatian pula untuk mengatasi oli yang tersemprot dari *diesel hammer*, terutama sewaktu pemancangan dekat dengan perumahan, dengan cara diberi penutup dengan terpal. Untuk pemancangan yang dekat dengan masjid, pelaksanaannya di luar waktu shollat, sehingga suara pemancangan tidak mengganggu pelaksanaan sholat. Mesin alat pancang yang digunakan adalah Link Belt 45 Ton yang dilengkapi dengan *diesel hammer* K45 (*ram weight* 4.5 Ton). Proses pemancangan dapat dilihat pada gambar 9.1.a dan b.

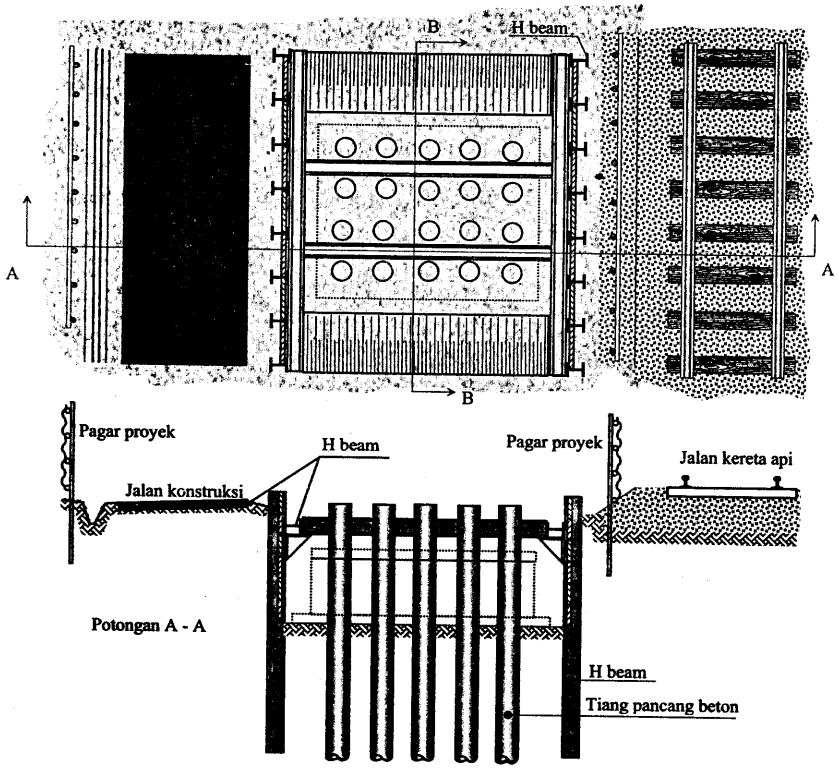


Gambar 9.1.*Tiang pancang pertama dipancang sesuai posisinya (kiri). Tiang pancang kedua setelah disambung dengan tiang pancang pertama, kemudian dipancang (kanan). Ujung-ujung tiang pancang sambungan dan pangkal tiang pancang awal dilengkapi dengan ring besi untuk penyambungan dengan las listrik (splice).*

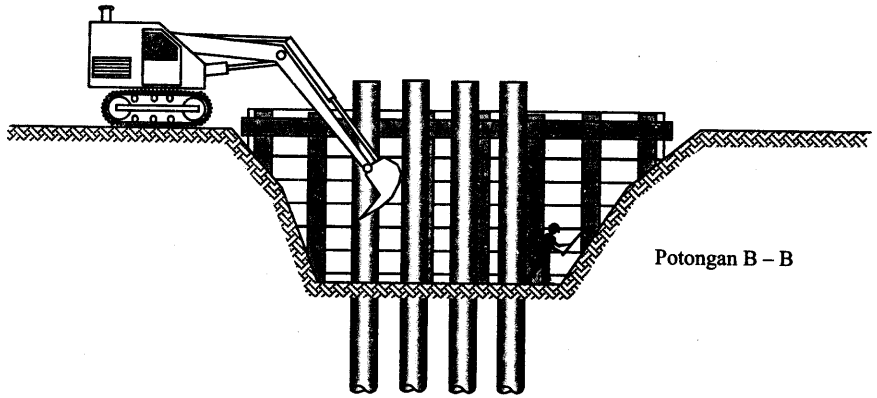
9.2 Pekerjaan Penggalian Tanah untuk Pondasi

Setelah selesai pemancangan dengan tiang pancang beton, pekerjaan selanjutnya adalah penggalian untuk beton poer (*pile-cap*). Pada sisi bagian galian yang berdekatan dengan bangunan, misalnya jalan raya atau jalan rel kereta api, maka perlu diberi pro-

teksi agar tanah tidak longsor. Sisi tersebut dipancang dengan besi H sebagai tiang penguatnya, dan di antara besi H tersebut diberi papan-papan untuk penahan tanahnya. Pemancangan besi H dapat dengan *vibratory pile driver* (mesin pancang dengan getaran), atau kadang-kadang untuk mempercepat waktu pekerjaan dapat hanya ditekan dengan *back-hoe/excavator* jika tanah cukup lunak dan galian tidak terlalu dalam. Untuk meratakan tekanan tanah pada tiang besi H yang vertikal, perlu diberi besi H dengan posisi horisontal. Lihat gambar 9.2 dan 9.3.



Gambar 9.2. *Konstruksi pengamanan penggalian tanah untuk pengecoran beton pile-cap*

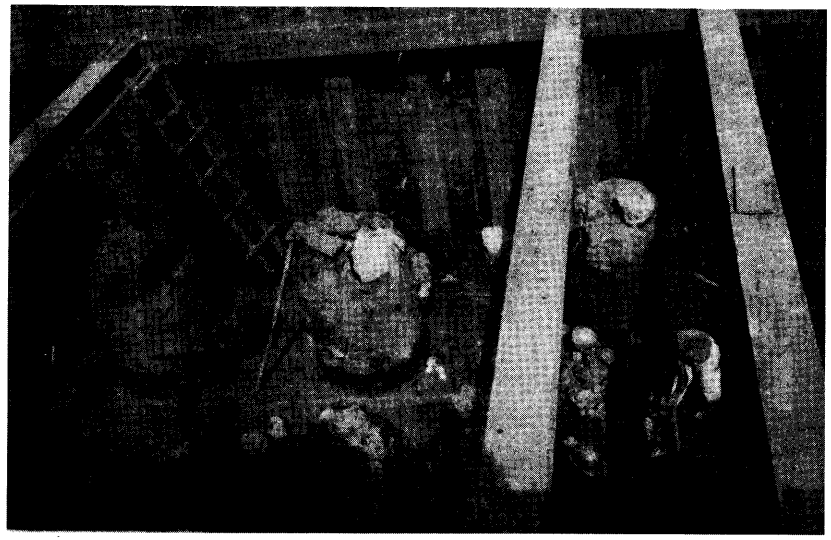


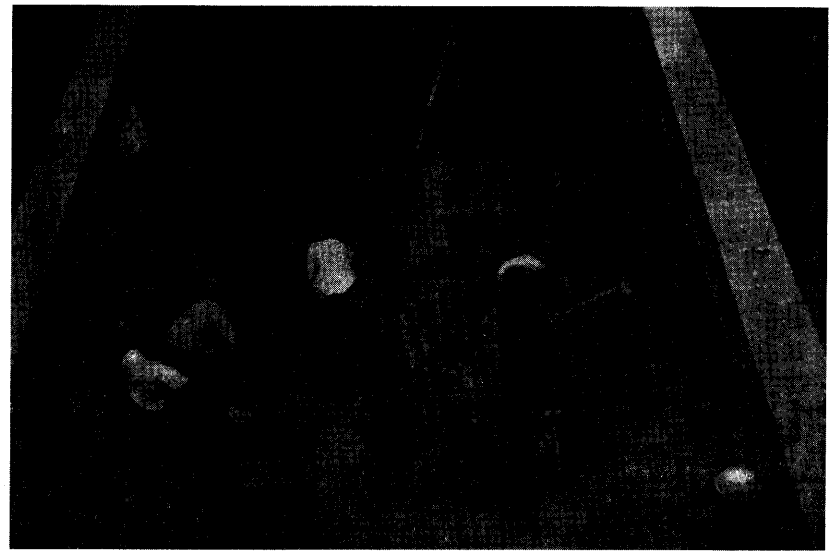
Gambar 9.3. *Penggalian tanah untuk pile-cap pondasi tiang pancang*

Pelaksanaan penggalian dengan menggunakan mesin *excavator/back hue,* dan untuk perapian sisi pinggir galiannya dengan menggunakan tenaga manusia. Tampak dalam gambar 9.4, pemotongan tiang pancang dengan tenaga manusia. Sisa besi dari tiang pancang yang dipotong bagian atas digunakan untuk stek dan akan dicor dengan *pile-cap.*

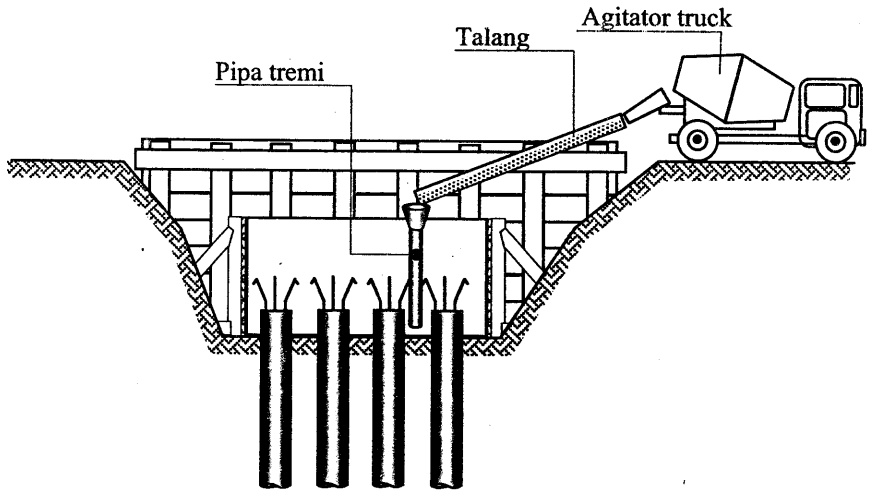
9.3 Pekerjaan Pengecoran *Pile-cap*

Setelah selesai penggalian, tiang pancang dipotong sesuai elevasi yang ditentukan. Pemotongan tiang pancang ini dilakukan oleh tenaga manusia (gambar 9.4). Cetakan beton untuk *pile-cap* dengan menggunakan cetakan dari plat besi dan dilengkapi dengan perkuatan besi siku, atau dapat juga dengan menggunakan balok-balok kayu dan papan-papan (gambar 9.5). Perakitan besi beton dilaksanakan setelah lantai kerja selesai dicor. Perlu juga dipasang besi stek untuk sambungan pada pembesian pilar. Jika dianggap tinggi jatuh pengecoran beton lebih dari 1,5 M, maka digunakan talang dan pipa tremi, atau menggunakan *concrete pump,* atau dengan menggunakan mobile *concrete pump.*





Gambar 9.4. *Lubang galian pile-cap setelah selesai penggalian dan selesai dicor lantai kerja pile-cap (atas). Pemotongan sisa panjang dari tiang pancang beton (bawah). Tampak tiang pancang H-beam dan penyangga horisontal H-beam untuk menahan tekanan tanah.*



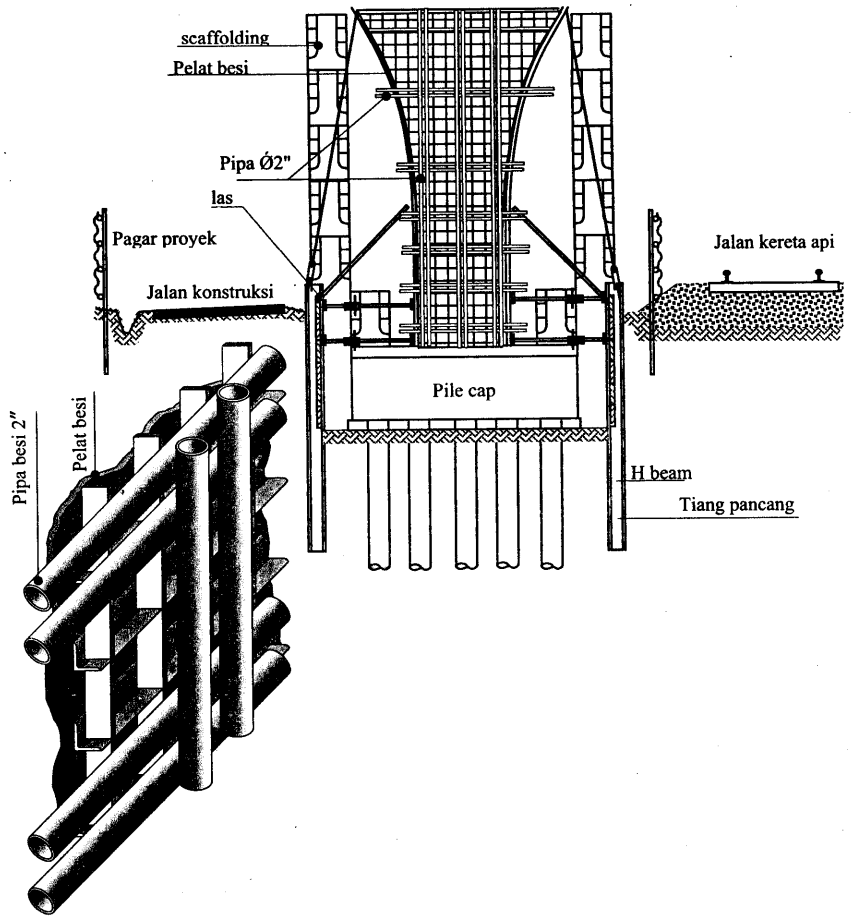
Gambar 9.5. *Pengecoran untuk pile-cap-pondasi tiang pancang*

9.4 Pekerjaan Pembuatan Pilar/Kolom

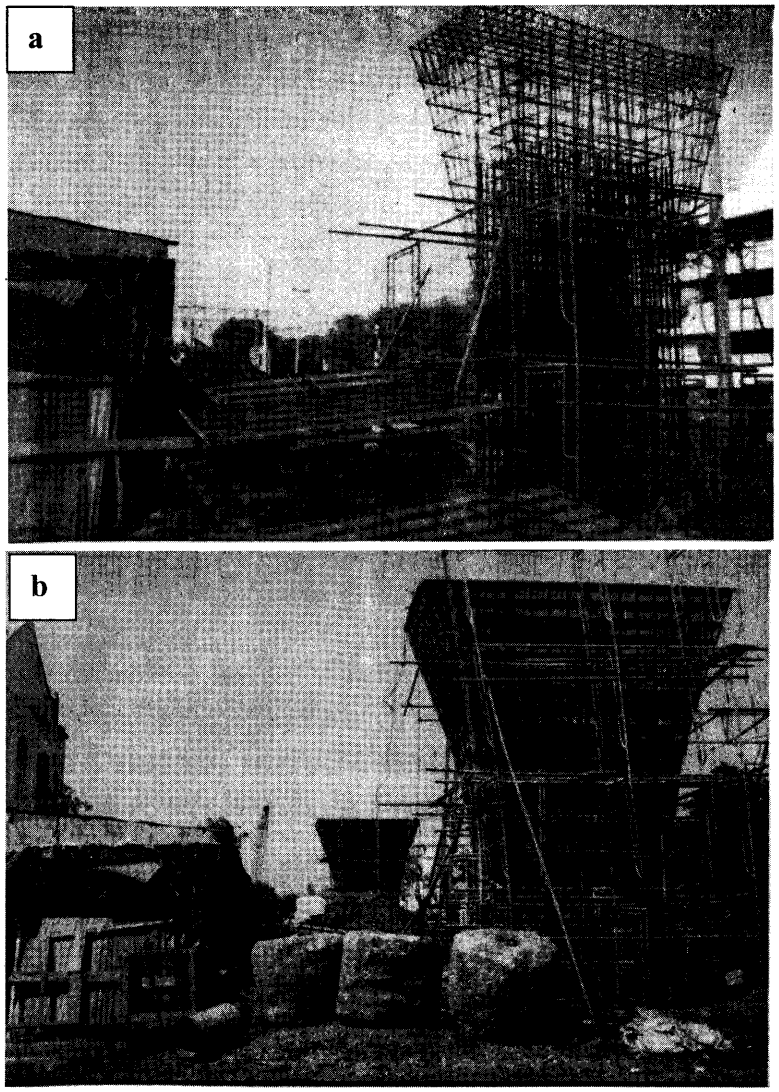
Sebelum pengecoran beton pilar, perakitan besi beton harus diselesaikan dahulu, dengan tulangan utamanya sudah diikatkan terlebih dahulu dengan stek-stek dari *pile-cap*, kemudian dipasang cetakan beton yang terbuat dari plat besi dengan pengaku-pengaku saling silang dari besi siku (gambar 9.6 dan 9.7.b).

Dalam pembuatan cetakan beton untuk pilar ini harus cukup kuat menahan desakan dari dalam berupa gaya horisontal dari beton yang masih cair dan juga harus berdiri secara kuat, untuk menahan gaya-gaya benturan yang mungkin terjadi pada ujung bagian atas kolom. *Scaffolding* yang dipasang sebagai alat untuk pemasangan cetakan beton pilar tersebut, harus tetap ada sewaktu pengecoran untuk kemudahan para pekerja pengecoran. Karena tinggi pilar lebih dari 1,5 M, maka pengecoran dilaksanakan dengan menggunakan mesin *mobile-concrete-pump* (gambar 9.8), sehingga *flexible hose* untuk beton dapat masuk ke dalam cetakan pi-

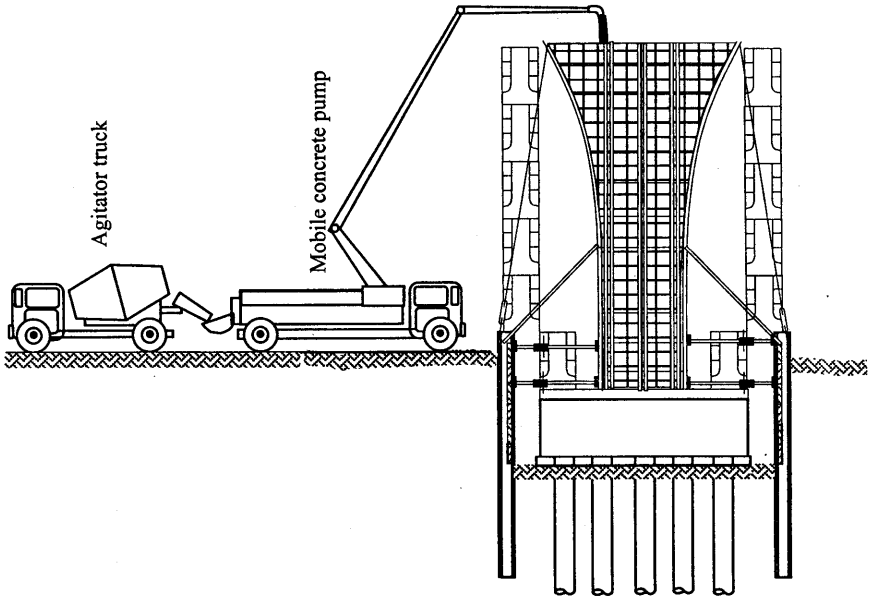
lar untuk menghindari tinggi jatuh dari beton cair lebih dari 1,5M. Seperti kita ketahui persyaratan beton cair tidak boleh dijatuhkan lebih dari 1,5 M, agar tidak terjadi segregasi dari material beton tersebut.



Gambar 9.6. *Pekerjaan perancah dan cetakan beton untuk pilar. Cetakan beton dari plat besi yang diperkuat dengan besi-besi siku yang saling dilas kuat. Lihat juga gambar 181*



Gambar 9.7. *Perakitan besi beton untuk pilar (a). Pemasangan perancah dan cetakan beton pilar (b). Pemasangan cetakan beton, karena beratnya, harus dengan menggunakan mesin mobile-crane. Lokasi di sekitar daerah Gondangdia Lama, tampak sebelah kiri masjid Cut Meutia*



Gambar 9.8. *Metode pengecoran beton dengan mobile-concrete-pump.*

9.5 Fabrikasi Balok-*Girder*-Beton (untuk Struktur Atas Jembatan Jalan Layang Kereta Api)

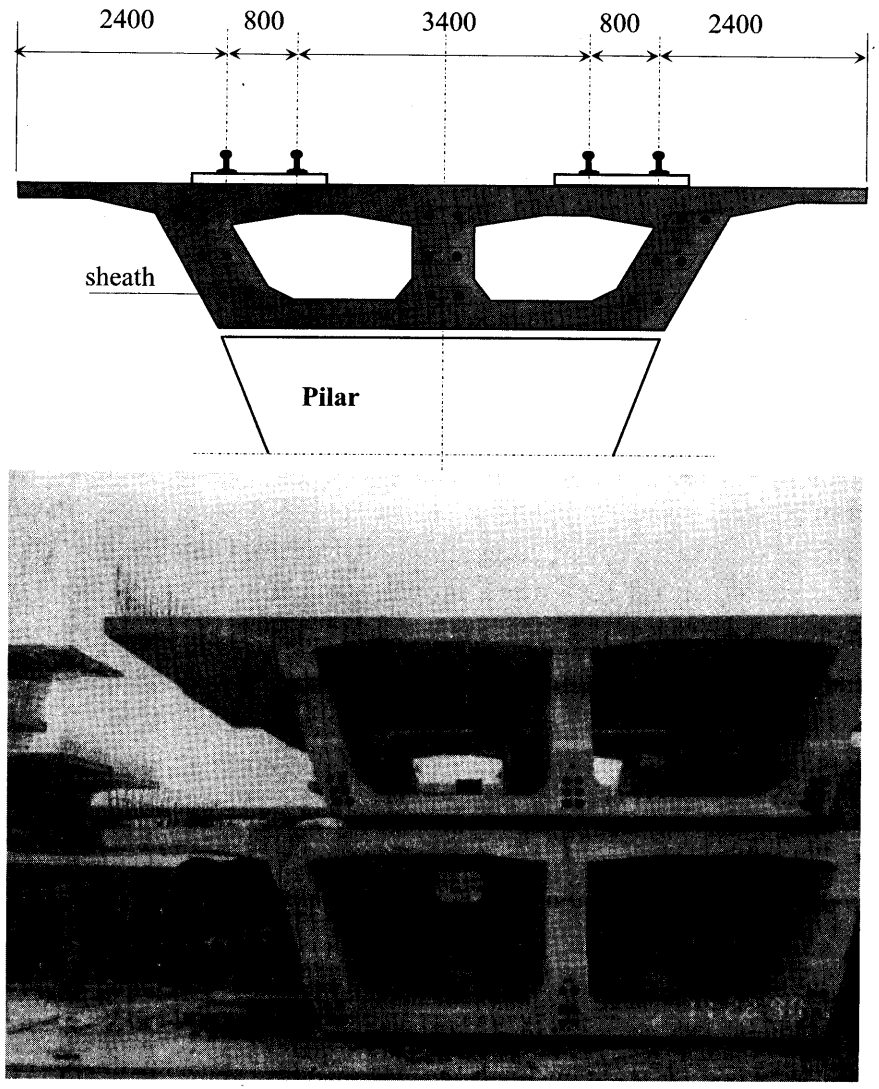
Pabrik beton *balok-girder* ini dilaksanakan di daerah Tanah Abang, Jakarta. Hal ini karena disepanjang lokasi proyek tidak ada lokasi yang cukup untuk areal yang dibutuhkan pabrik tersebut. Untuk memudahkan pelaksanaan pemasangan balok dan pengangkutannya, *balok-girder* ini dibuat dengan beberapa segmen. Balok dengan panjang bentang 25 M dibuat dalam 9 segmen, balok dengan panjang bentang 29 M dibuat dalam 11 segmen, dan balok dengan panjang bentang 38 M dibuat dalam 15 segmen. Sehingga panjang per segmen berkisar antara 2,5 M sampai 2,7 M. Dalam pembuatan segmen-segmen beton ini sudah termasuk pembuatan

fasilitas untuk penarikan kabel nantinya (*post-tension*), yaitu berupa *anchor-plates* dan *sheaths* atau selongsongan untuk *tendon*. Posisi dari *sheaths* untuk tiap segmen harus tepat sesuai gambar, sehingga jika segmen-segmen disatukan menjadi satu balok, posisi dari *sheaths* akan merupakan garis alinyemen dari kabel sesuai gambar rencana. Pada pabrik perlu juga *gantry crane* 60 Ton untuk mengangkat segmen-segmen tersebut ke atas lorry (gambar 185.b).

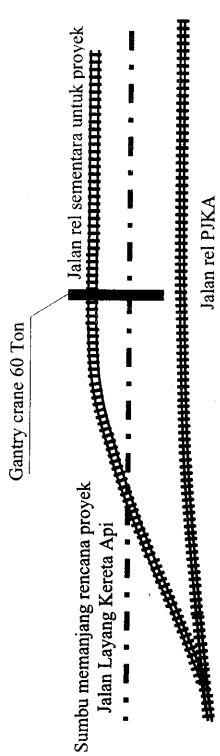
9.5.1 Transportasi Segmen-segmen *Balok-girder* (gambar 9.10)

Transportasi segmen-segmen balok dari tempat pabrik beton pembuatan segmen-segmen di daerah Tanah Abang, adalah dengan melalui sebagian jalan rel kereta api PJKA sampai ke tempat tertentu di lokasi proyek yang sudah disiapkan. Dengan demikian perlu diadakan rel sementara proyek yang dihubungkan dengan rel dari PJKA (gambar 9.10). Pengangkutan dari lokasi pabrik beton dengan menggunakan loko *diesel* dengan 6 *flat-wagon* untuk mengangkut 6 segmen. Letak segmen di atas flat wagon dengan arah sumbu segmen tegak lurus terhadap sumbu jalur rel, sehingga tidak mengambil area jalur perjalanan yang sangat lebar (gambar 9.11). Karena pengangkutan segmen-segmen ini melalui jalur rel PJKA, maka perlu koordinasi dengan pihak PJKA untuk pengaturan jadwal (biasanya dilakukan pada malam hari). Pada lokasi proyek dilengkapi dengan *gantry-crane* 60 Ton di atas rel sementara (Gambar 9.10, 9.12 dan 9.16). Segmen yang telah sampai di bawah *gantry-crane*, diangkat kemudian diputar horisontal, sedemikian sehingga sumbu segmen tepat dengan sumbu memanjang dari rel rencana, kemudian diletakan di atas *trolley* yang sudah terletak di atas *erection girder* (gambar 9.12, 9.13 dan 9.16).

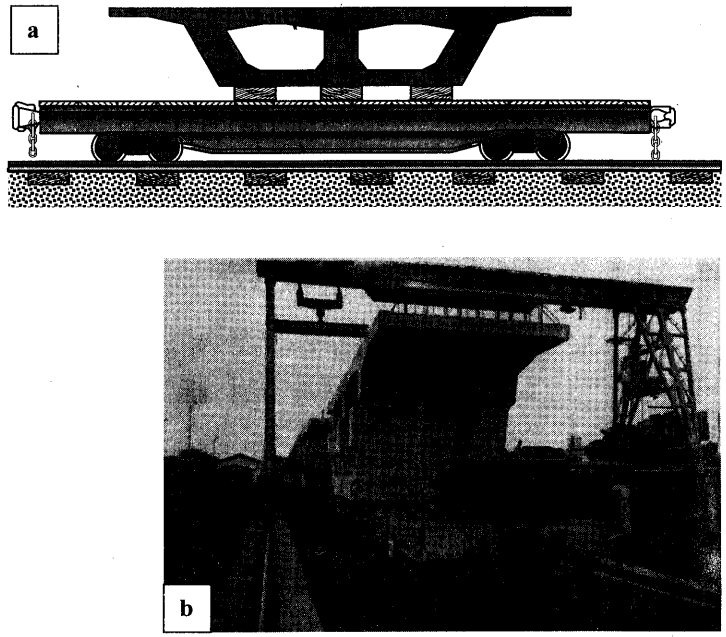
Badan



Gambar 9.9. *Bentuk umum potongan segmen dari balok-girder (atas). Stockpile segmen (bawah) di daerah pabrik*



Gambar 9.10. *Transportasi dari pabrik pembuatan segmen ke lokasi pemasangan balok dengan membuat rel sementara ke arah bawah gantry crane, dan sebelumnya melewati rel dari PJKA. Tampak di latar belakang gantry-crane yang sudah terpasang di daerah antara sta Gondangdia dan sta Cikini. Di latar depan tampak dipasang wesel untuk rel yang menuju ke lokasi gantry-crane. Gambar sebelah kiri merupakan sketsa rel perjalanan menuju ke lokasi gantry-crane*

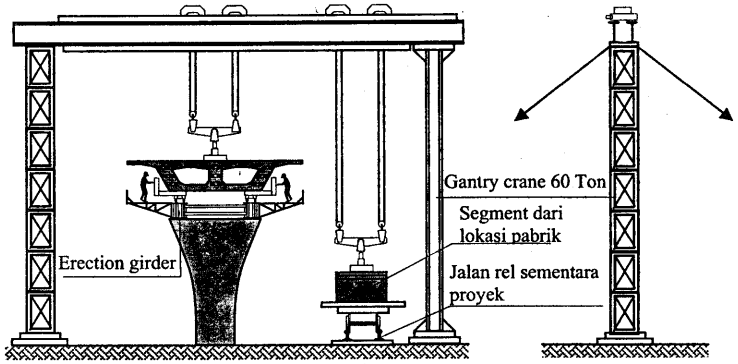


Gambar 9.11. *Sketsa dari metode pengangkutannya dengan menggunakan flat-wagon (gambar a). Pengangkutan segmen balok-girder dari pabrik beton di daerah Tanah Abang menuju ke lokasi proyek dengan menggunakan flat wagon. Pemuatan di atas flat-wagon dengan gantry-crane (gambar b).*

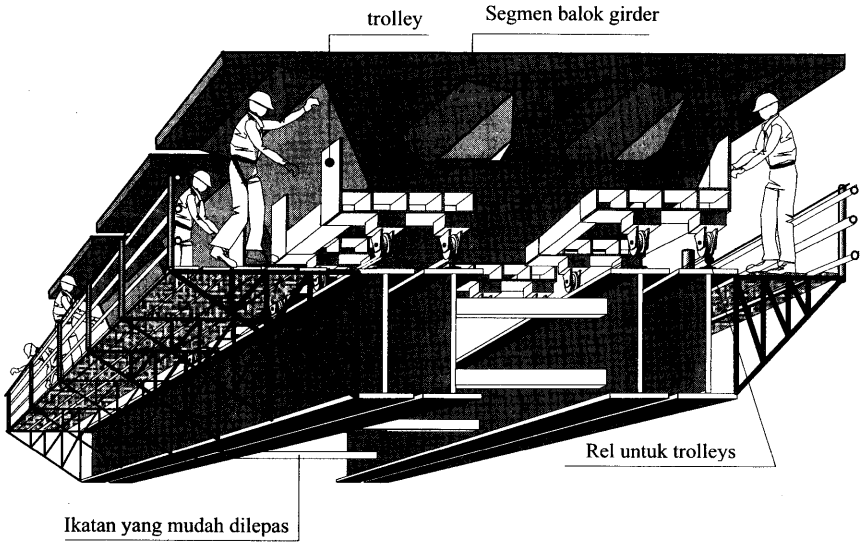
9.6 Pemasangan *Balok-girder*-Beton

Untuk awalnya pemasangan *balok-girder* beton adalah di bawah *gantry crane*. Pertama-tama adalah pemasangan *erection girder* di atas 2 pilar. *Erection girder* merupakan dua pasang baja profil I, di mana masing-masing profil dipasang rel, dengan demikan terdapat dua pasang rel *trolleys* untuk pengangkutan segmen-segmen. Pada sisi kanan kiri dipasang konstruksi rangka untuk para petugas pelaksanaannya. Panjang *erection girder* disesuaikan dengan jarak pilar, sedemikian sehingga *erection girder* bisa ditopang 2 buah pilar

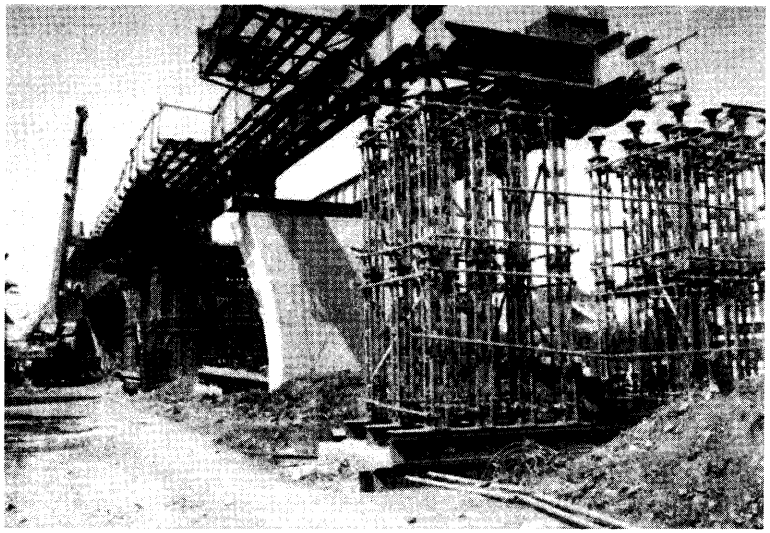
dan ekstra panjang sampai dekat dengan pilar berikutnya (gambar 9.13, 9.14 dan 9.16). Segmen setelah sampai di bawah *gantry crane*, diangkat dan diputar horisontal, kemudian diletakan di atas *trolley* (*trolley* sudah berada di atas *erection girder*), sedemikian posisinya sehingga sumbu segmen berimpit dengan sumbu dari 2 pasang rel pada *erection girder*, yang berarti juga nantinya berimpit dengan garis sumbu dari rencana *balok-girder*. Segmen-segmen di atas *trolley* diatur masih mempunyai jarak 20 CM, dengan maksud memberi ruang gerak petugas nantinya untuk memberikan lapisan perekat *epoxy* "sikadur-W", pada salah satu permukaan segmen yang akan digabungkan. Setelah itu segmen-segmen digabung menjadi satu, dengan cara mendorong *trolley* agar saling kontak. Untuk merapatkan masing-masing segmen digunakan 30-*Ton-center-hole-oil-jacks*. Jack ini sepasang dipasang di atas plat lantai segmen beton, dan sepasang di bawah pada lubang segmen, sehingga setelah dilapisi *epoxy* kontak masing-masing segmen dapat rapat sekali. *Jack* ini dibuat sedemikian rupa sehingga berfungsi bukan untuk mendorong atau mengangkat, tetapi untuk menarik kedua segmen agar merapat (gambar 9.18, 9.19 dan 9.20).



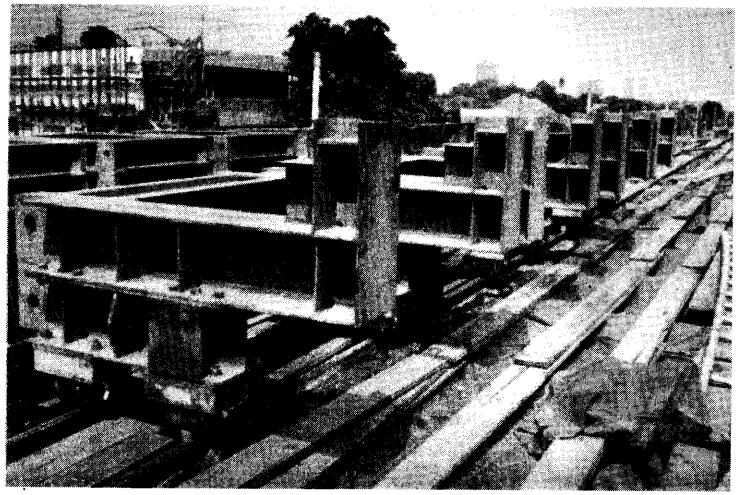
Gambar 9.12. *Segmen-segmen dari pabrik diangkat, diputar horisontal, dan diletakan diatas trolley. Pada erection girder sudah terpasang 2 pasang rel untuk beberapa pasang trolley tersebut.*



Gambar 9.13. *Sketsa erection-girder*

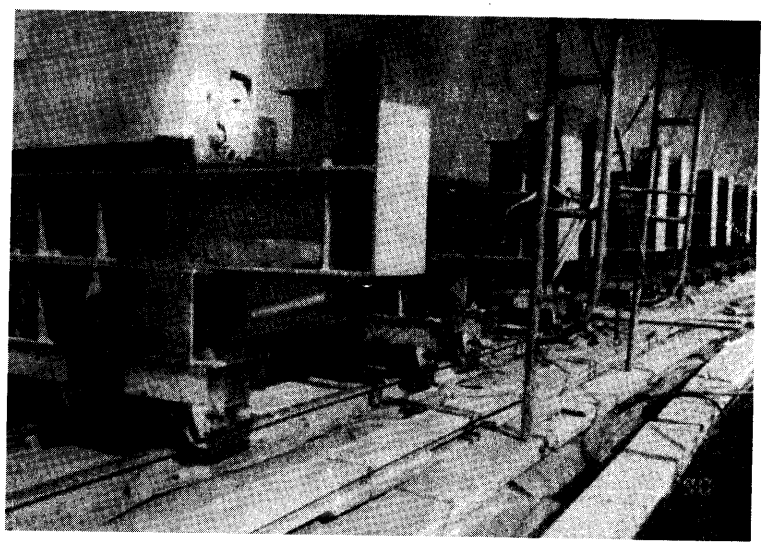


Gambar 9.14. *Erection-girder yang terpasang di atas dua pilar dan pada ujungnya disangga dengan serangkaian scaffolding*



Gambar 9.15. *Tampak bentuk deretan beberapa pasang trolleys (tampak pihak sebelah kanan yang sudah terpasang di atas erection girder, untuk deretan sebelah kiri tampak sebagian di latar belakang)*

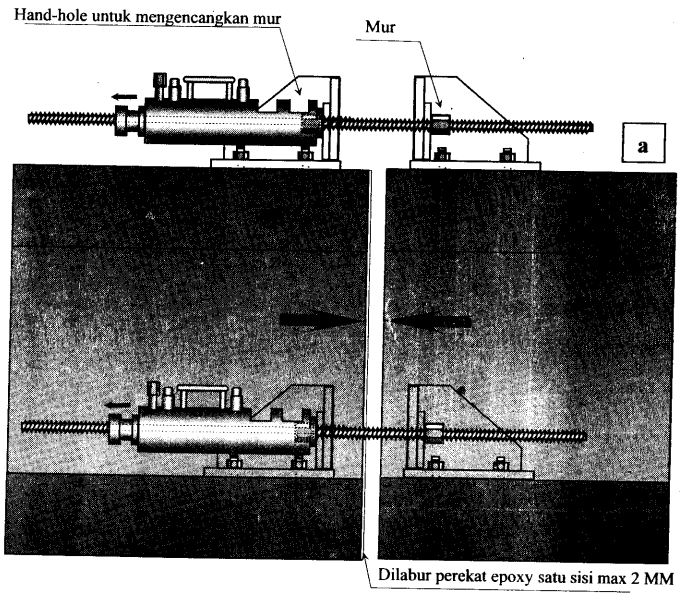
Gambar 9.16. *Gantry-crane meletakkan segmen-segmen beton di atas trolleys yang sudah terpasang di atas erection girder*



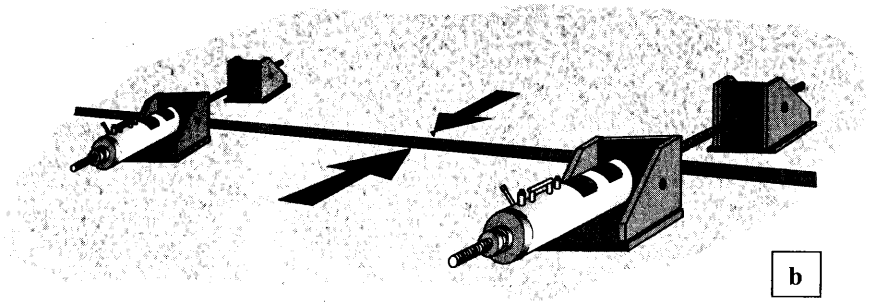
Gambar 9.17. *Tampak deretan trolleys (hanya tampak deretan sebelah kanan) yang sudah dimuati dengan segmen-beton-balok girder di atas erection-girder. Di atas erection-girder perlu dipasang papan-papan untuk mempermudah petugas berjalan*

Tahap I. Menempatkan segmen-segmen pada *erection-girder*

Pada awal dari pemasangan *balok-girder* beton ini, pilar-pilar dimulai dari posisi di bawah *gantry crane* sudah selesai dan sudah mempunyai umur yang cukup sehingga mempunyai tegangan beton karakteristik yang sudah sesuai dengan rencana. Langkah pertama adalah pemasangan *erection-girder* pada dua pilar, di mana pada *erection-girder* tersebut sudah terpasang dua pasang rel untuk *trolleys*. Di antara dua buah pilar perlu penyangga untuk *erection-girder* dengan menggunakan *scaffolding*. Kemudian juga sejumlah *trolleys* yang diperlukan dipasang pada rel pada *erection-girder*. Pemasangan *erection-girder* dan *trolleys* adalah dengan menggunakan 60 *Tons-gantry-crane*. Pengangkutan segmen-segmen dari pabrik beton sesampai di bawah *gantry-crane*, kemudian segmen-segmen diangkat dan diputar horisontal dan diletakan di atas *trolleys* (gambar 9.12, 9.13, 9.16). Akhir tahap I ini merupakan sejumlah segmen untuk keperluan sebuah *balok-girder* beton telah terletak dengan posisi di atas dua pilar yang direncanakan, dengan jarak masing-masing tepi segmen selebar 20 CM, dengan maksud memberi ruang gerak para petugas untuk melaburkan perekat *epoxy* pada salah satu sisi permukaan segmen yang akan saling kontak dengan ketebalan max 2 MM. *Erection-girder* ini untuk seterusnya merupakan alat bantu pemasangan balok-*girder*-beton (*launching*) dengan menggeser-geser *erection-girder* tersebut sampai selesainya pekerjaan. Ada perbedaan dalam tahap I ini, antara awal pemasangan balok-*girder*-beton, dengan pemasangan balok-*girder*-beton berikutnya di mana sudah ada balok-*girder*-beton sebelumnya.

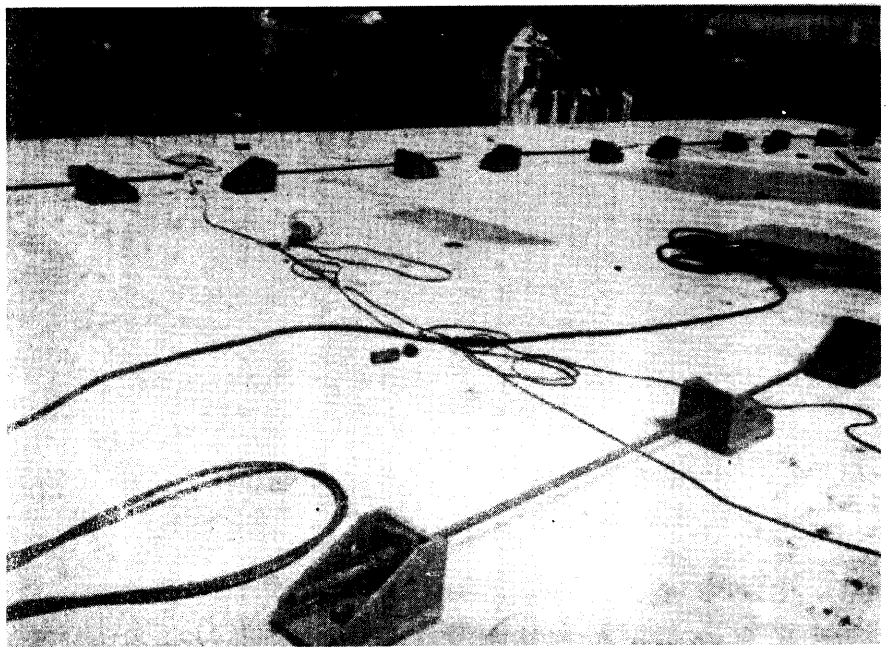


Gambar 9.18. *Sketsa Pemasangan 30-Ton-center-hole-oil-jack. Pada bagian plat di atas dan di dalam lubang, dari dua segmen yang akan dirapatkan.*



Gambar 9.19. *Sketsa 30-Ton-center-hole-oil-jack. Tampak terpasang sepasang pada plat lantai atas segmen balok. Selain itu juga harus dipasang pada bagian di dalam lobang segmen*

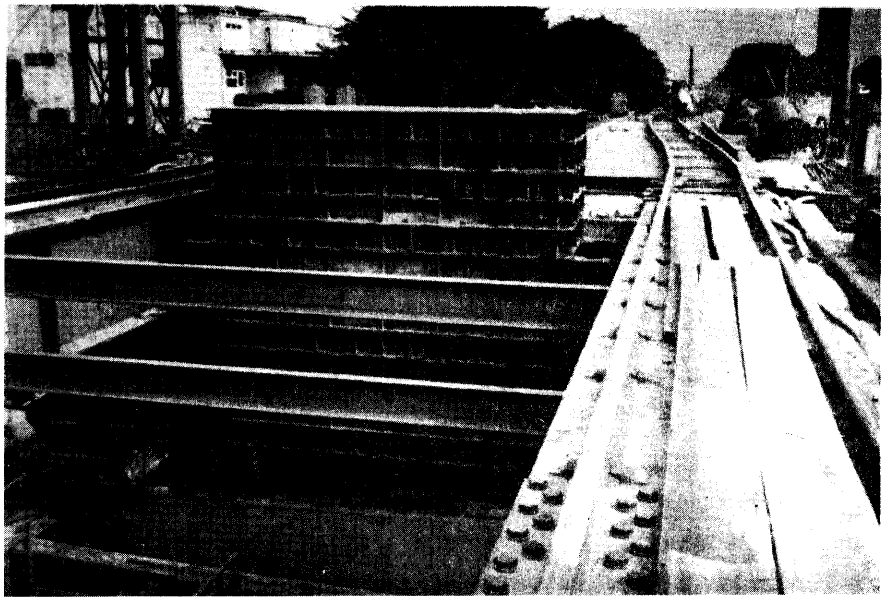
Gambar 9.20. *Kondisi setelah selesai pelaburan dengan epoxy sikadur-W, dan selesai penarikan dengan 30-Ton-center-hole-oil-jack, untuk seluruh segmen-segmen dari satu balok-girder.*



Gambar 9.21. *Fungsi merapatkan segmen-segmen dengan 30-Ton-center-hole-oil-jack, digantikan dengan mur dan baut panjang, yang ditahan dengan ganjal-ganjal besi. Mur dan baut ini akan dilepas nantinya setelah selesai penarikan kabel (post tension).*

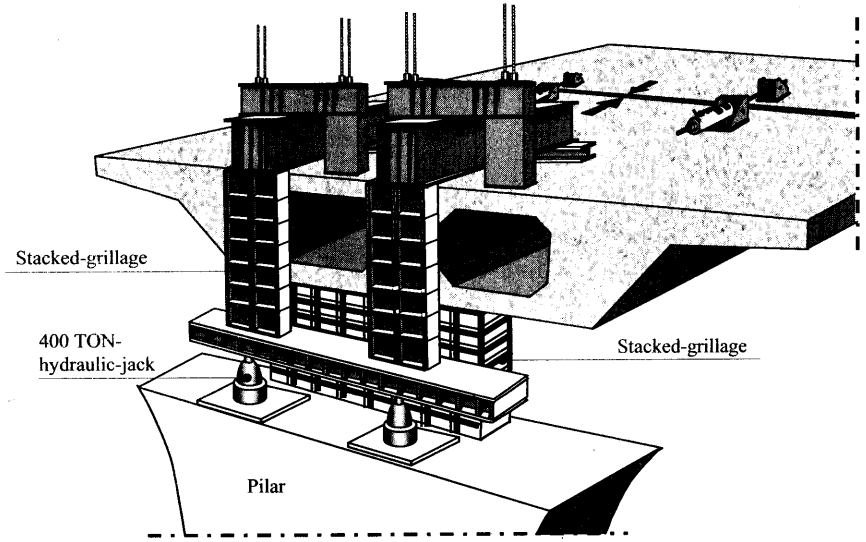
Tahap II. Merapatkan segmen-segmen dengan 30-Tons-*center-hole-oil-jack*, pemasangan *stacked-grillage*, pemasangan *erection-nose*, dan penarikan kabel *tendon* (*stressing*).

- Segmen-segmen masih di atas *trolleys*, dengan jarak permukaan vertikal masing-masing segmen 20 CM, dilabur pada salah satu sisi permukaannya dengan perekat *epoxy sikadur-W.*
- Sementara itu sudah dimulai pemasangan *stacked-grillage* di atas kedua pilar pada posisi di antara *erection-girder. Stacked-grillage* berupa susunan tumpukan dari besi baja H-200 yang berfungsi menahan balok-*girder*-beton untuk sementara (gambar 9.22).



Gambar 9.22. *Stacked-grillage dipasang di atas pilar*

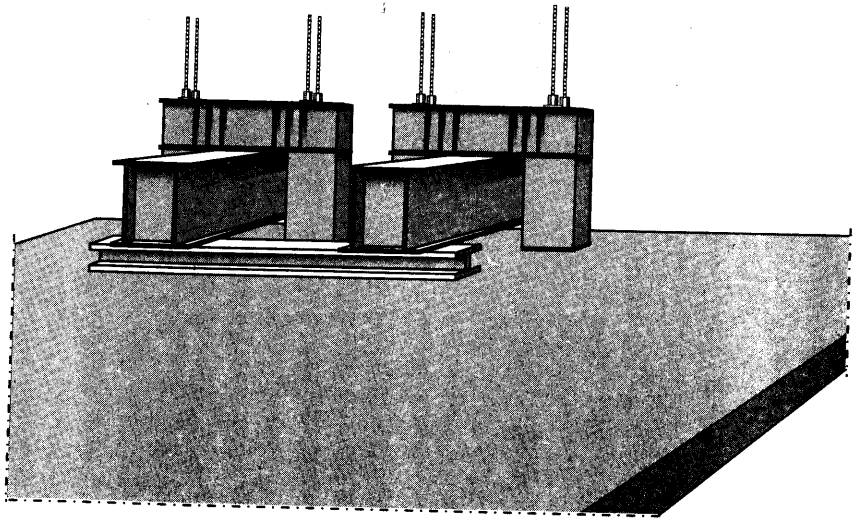
- Masing-masing segmen dirapatkan dengan 30-*Ton-center-hole-oil-jack*. Setelah *epoxy* dianggap kering (sesuai spesifikasi pabriknya), fungsi 30-Ton-*center-hole-oil-jack* diganti dengan mur dan baut panjang yang diganjal dengan bentuk struktur besi seperti dalam gambar 9.21. Mur dan baut panjang ini akan dilepas nanti setelah penarikan kabel (*post tension*).
- *Tendon* dimasukan ke masing-masing lubang, dan untuk sementara enam buah *tendon* yang simetris diberi tarikan masing-masing 100 TON dengan menggunakan *Fressynnet-jacks*. *Fressynnet-jacks* ini dengan menggunakan pompa listrik.
- Setelah perekat *epoxy sikadur-W* telah mengeras, semua *tendon* diberi tarikan sesuai rencana prategang. Penarikan kabel menggunakan *Fressynnet-jacks* dengan pompa listrik.
- Pemasangan *erection-nose*. *Erection-nose* ini bagian atas diikatkan secara struktural dengan beton dari balok-*girder*, sehingga cukup kuat untuk mengangkat separuh bagian balok-*girder*-beton, dan bagian bawahnya langsung ditahan oleh pilar dengan melalui sepasang *hydroulic-jacks* (2 x 400 TON) untuk setiap pilarnya, atau jika sudah ada balok-*girder*-beton yang sudah terpasang, sepasang *hydraulic-jacks* tersebut menumpang pada plat lantai dari balok-*girder*-beton yang sudah terpasang.



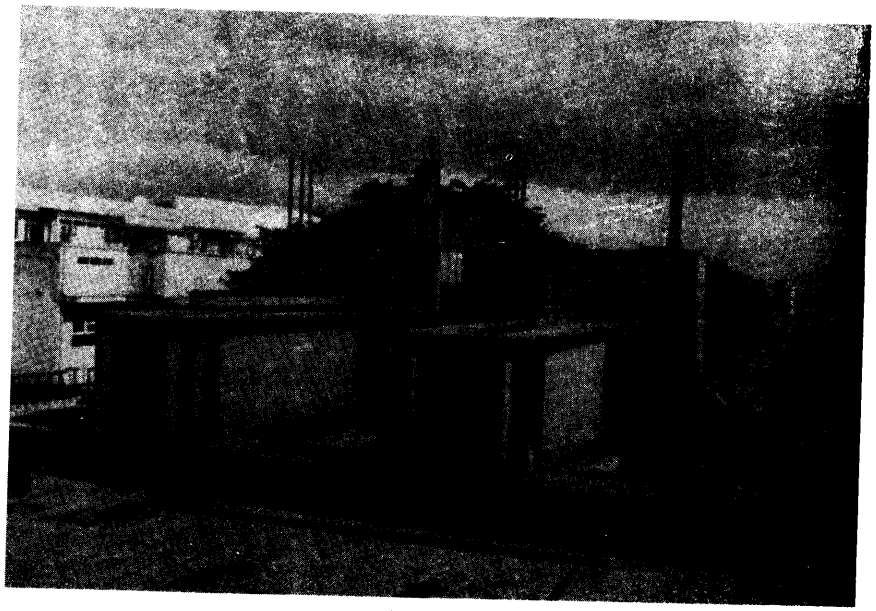
Gambar 9.23. *Sketsa pemasangan erection nose yang berlandaskan pada pilar. Erection girder dan trolley tidak ikut tergambar. Kondisi seperti ini balok-girder-beton masih tersangga oleh serangkaian trolleys*

Pemasangan *erection-nose* bagian atas diikatkan melalui mur panjang dan baut yang cukup kuat ke dalam beton. Dan sewaktu pembuatan segmen-segmen beton ini sudah disiapkan *accessories* yang ditanam di dalam beton untuk keperluan pemasangan *erection-nose*.

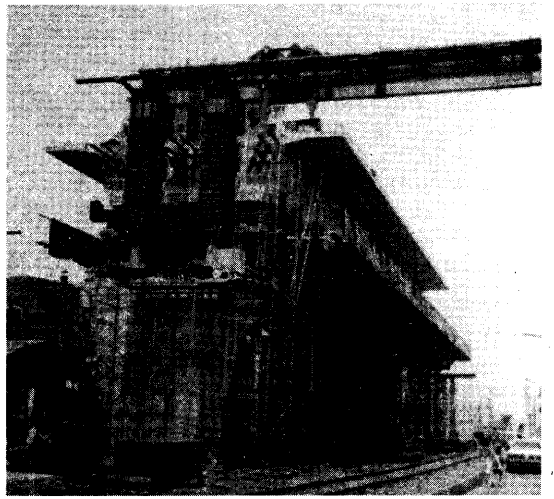
- Pemasangan *scaffolding* untuk nantinya para petugas melaksanakan penurunan balok-*girder*-beton pada pilar.



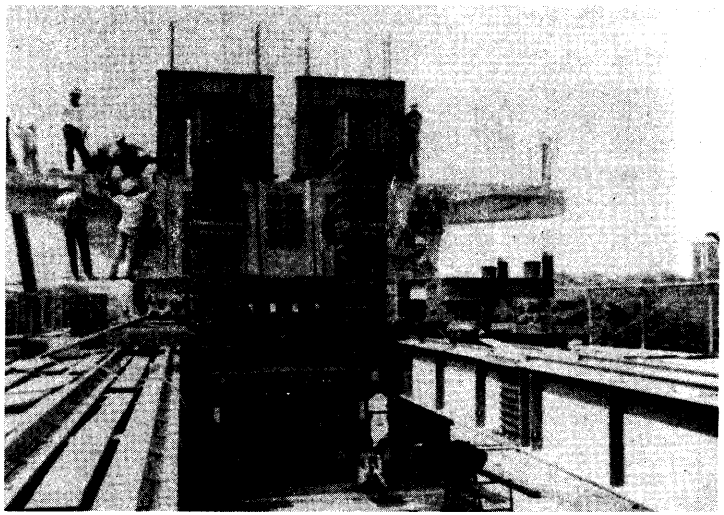
Gambar 9.24. *Sketsa erection-nose tampak dari sisi berlawanan*



Gambar 9.25. *Pemasangan erection-nose di daerah Gondangdia; tampak baut-baut panjang yang diikat sampai ke dalam beton*



Gambar 9.26. *erection-nose; erection-girder; dan stacked-grillaged; kondisi segmen-segmen sudah selesai penarikan kabel, dan erection-girder masih belum digeser ke span berikutnya*



Gambar 9.27. *Erection-girder sudah digeser ke depan. Karena penarikan kabel sudah dilaksanakan, maka balok-girder-beton sudah mampu hanya tertumpu pada stacked-grillaged yang terletak di atas kedua pilar.*

Tahap III. *Grout*

Grout dengan semen dan *additive* untuk mengisi *sheaths* untuk menjaga bahaya korosi dari kabel baja prategang. Untuk injeksi ke dalam *sheaths* digunakan pompa listrik. Penyuntikan *grout* dapat diberhentikan jika kualitas bahan *grout* yang keluar dari outlet sudah sama dengan kualitas bahan *grout* sesuai rencana dari inlet. Hal ini harus dilakukan karena kemungkin terjadi di dalam *sheaths* terdapat kotoran-kotoran atau air hujan yang masuk. Bahan *grout* adalah semen, air dengan w/c 45% dan *additive* sesuai tes laboratorium.

Tahap IV. Menggeser *erection-girder*.

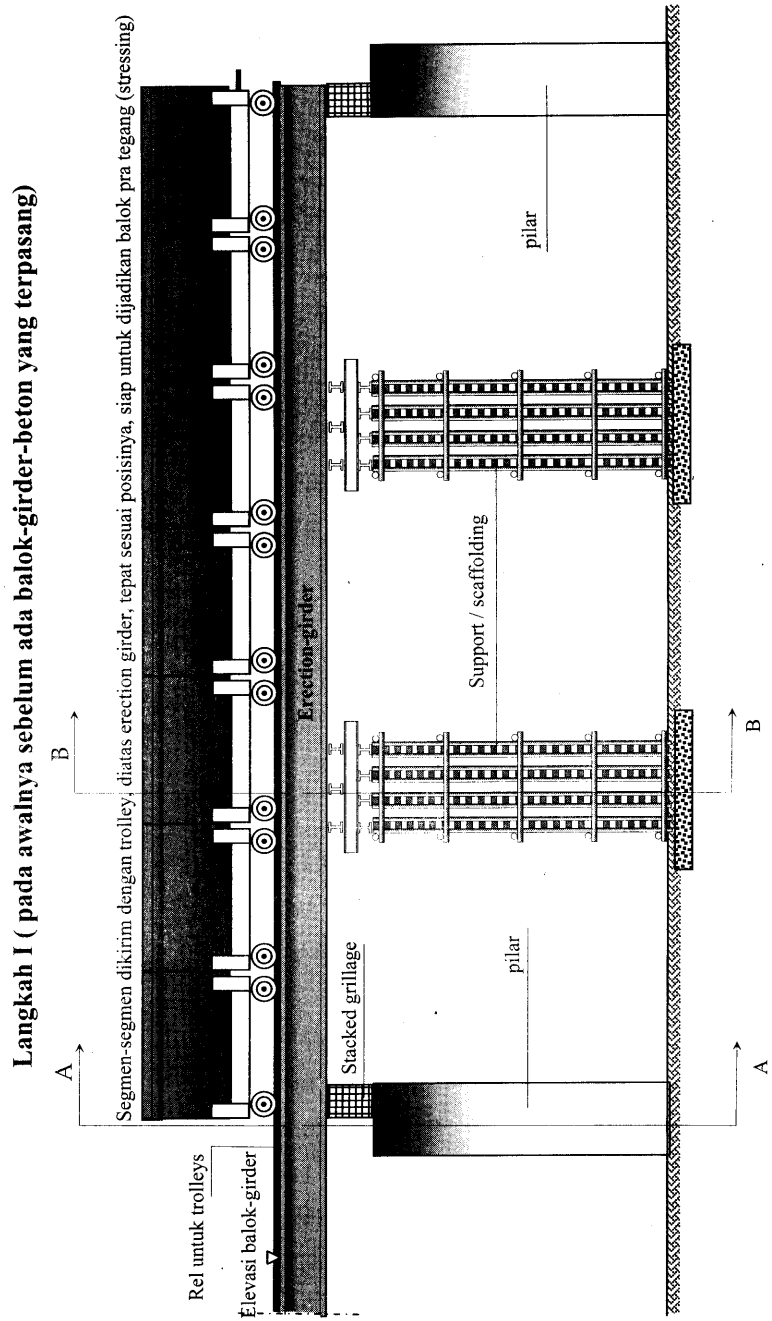
Balok-*girder*-beton siap diturunkan untuk diletakan pada pilar, sehingga *erection-girder* harus dipindah dengan menggesernya ke depan untuk pemasangan berikutnya. Penggeseran dengan ditarik dengan *lier* tangan. Pada pilar juga perlu diberi jack horisontal untuk koreksi posisi dari garis sumbu *erection-girder* harus berimpit dengan garis sumbu dari balok-*girder*-beton.

Tahap V. Menurunkan balok-*girder*-beton pada landasan *bearing-pad pada pilar*.

Ada dua *stacked-grillage*, yaitu *stacked-grillage* yang terdapat pada kaki erection nose dan *stacked-grillage* untuk penyangga balok-*girder*-beton. Kedua jenis *stacked-grillage* tersebut bertumpu pada pilar. *Stacked-grillage* yang terdapat pada kaki *erection-nose* menumpu pada pilar dengan melalui sepasang 400 Tons *hydraulic-jacks* (lihat gambar 9.23). Untuk menurunkan balok-*girder*-beton perlu bertahap pula, dengan langkah-langkah sebagai berikut (lihat gambar 9.28 sampai dengan 9.29),

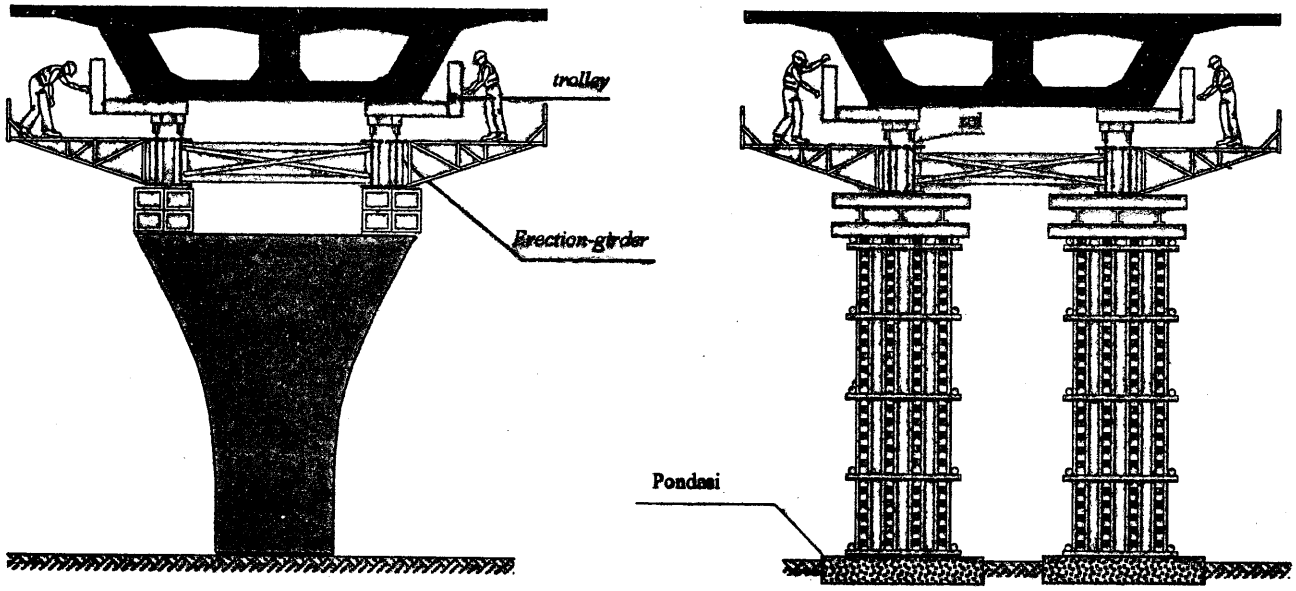
- Langkah I. Gambar 9.28 dan 9.29 menunjukkan segmen-segmen yang sudah diletakan di atas *trolleys* yang terpasang di atas *erection girder*. Pengangkatan segmen-segmen dengan menggunakan *gantry-crane* 60 Ton. Di antara dua pilar perlu disangga dengan susunan *scaffolding*.
- Langkah II. Gambar 9.30 dan 9.31 menunjukkan segmen-segmen sudah menjadi balok pra-tegang, dan tersangga oleh *stacked-grillage* baik dari *erection-nose* maupun *stacked-grillage* yang langsung menyangga balok. *Erection-girder* sudah digeser ke depan. Bagian bawah dari *stacked-grillage* yang dipasang pada *erection-nose*, disangga oleh empat buah 400 Ton *jack*. *Scaffolding* dipasang dekat dengan pilar untuk mempermudah para petugas melepas *stacked-grillage*.
- Langkah III dan langkah IV (gambar 9.32 dan 9.33). *erection-nose* bagian belakang (pada gambar sebelah kanan) diangkat secukupnya dengan sepasang 400-*Ton-hydraulic-jacks*, ini berarti balok-*girder*-beton juga terangkat sebelah belakang. Kemudian satu bagian atas dari *stacked-grillage* setinggi 20 CM yang menyangga balok-*girder*-beton dilepas, dan 400-*Ton-hydraulic-jack* turun sedemikian sampai balok-*girder*-beton duduk pada *stacked-grillage* yang sudah berkurang tingginya. 400-*Tons-hydraulic-jack* turun terus sedemikian sehingga bagian bawah dari *stacked-grillage* dari *erection-nose* menggantung, dan bagian bawah ini diambil satu bagian atau setinggi 20 CM, kemudian jack tersebut dinaikan kembali sampai menyangga *erection-nose*. Susunan tumpukan *stacked-grillage* ini satu sama lain diikat dengan mur dan baut. Karena *stacked-grillage* terdiri dari besi baja H-200, berarti penyangga ini pada bagian atas akan turun 20 CM. Petugas untuk membuka satu per satu bagian dari *stacked-grillage* ini, dengan menggunakan *scaffolding* untuk platform petugas, yang letaknya berdekatan dengan pilar. Sampai dengan tahap ini posisi balok-*girder*-beton adalah miring ke belakang. Dalam gambar tampak terlalu miring, tetapi dalam kenyataannya kemiringannya sangat kecil, yaitu *tangent* sudut adalah 20 CM : 2500CM, atau sudut kemiringannya sekitar 0,458°, jika panjang balok-*girder*-beton adalah 25 M.

- Langkah V, langkah VI, dan langkah VII (gambar 9.34, 9.35, dan 9.36). Kemudian tahap-tahap seperti tersebut dari langkah III dan langkah IV dikerjakan sama, dan pengerjaan bagian depan dan bagian belakang dikerjakan secara bergantian, agar tidak berbahaya.
- Langkah VIII (gambar 9.37). *erection-nose* dilepas. Pemasangan rel dimulai dari langkah VII.
- Langkah IX (gambar 9.38 dan 9.39). *Trolleys* kosong ditarik dengan *electric-locomotive* bergerak kebelakang menuju di bawah *gantry-crane* dan siap untuk dimuati dengan segmen-segmen yang berikutnya. Kemudian *trolleys* dengan muatan segmen-segmen dibawa menuju ke lokasi span berikutnya, dan pekerjaan penurunan balok-*girder*-beton dikerjakan sama seperti pada langkah I sampai dengan langkah VIII.
- Langkah X (gambar 9.40 dan 9.41). Sampai dengan langkah ini ada perbedaan, karena sepasang 400-*Ton-hydraulic-jack* dibagian belakang (dalam gambar sebelah kanan), tidak lagi terletak di atas pilar, tetapi di atas balok-*girder*-beton yang terpasang terdahulu.
- Pada bagian bawah *stacked-grillage* penyangga balok-*girder*-beton, yaitu pada permukaan atas pilar masih perlu adanya *horisontal-hydraulic-jack* jika diperlukan untuk mengatur posisi balok-*girder*-beton saat terjadi pergeseran sumbu sewaktu pekerjaan *jack-down*.

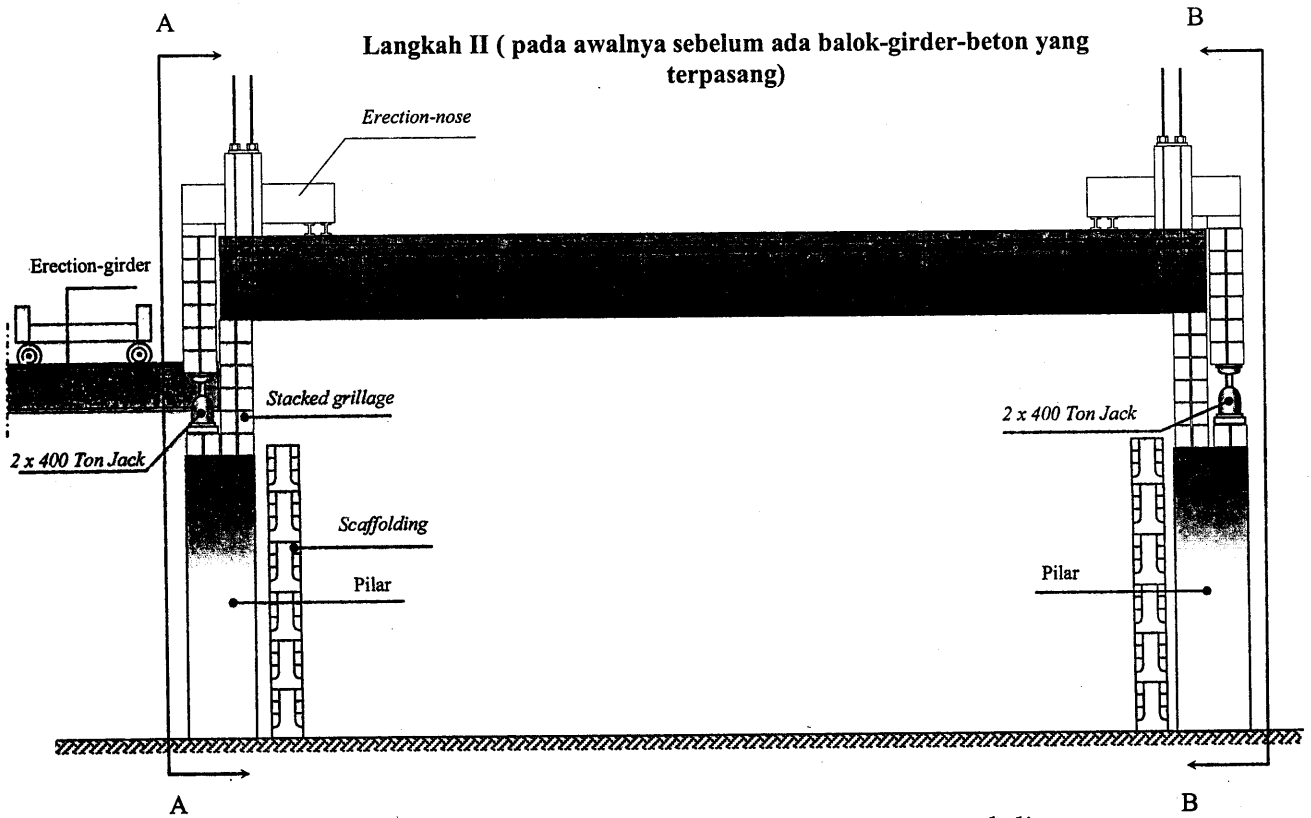


Gambar 9.28. *Kondisi awal, sebelum ada balok-girder-beton yang terpasang*

Langkah I (kondisi awalnya sebelum ada balok-girder-beton yang terpasang)

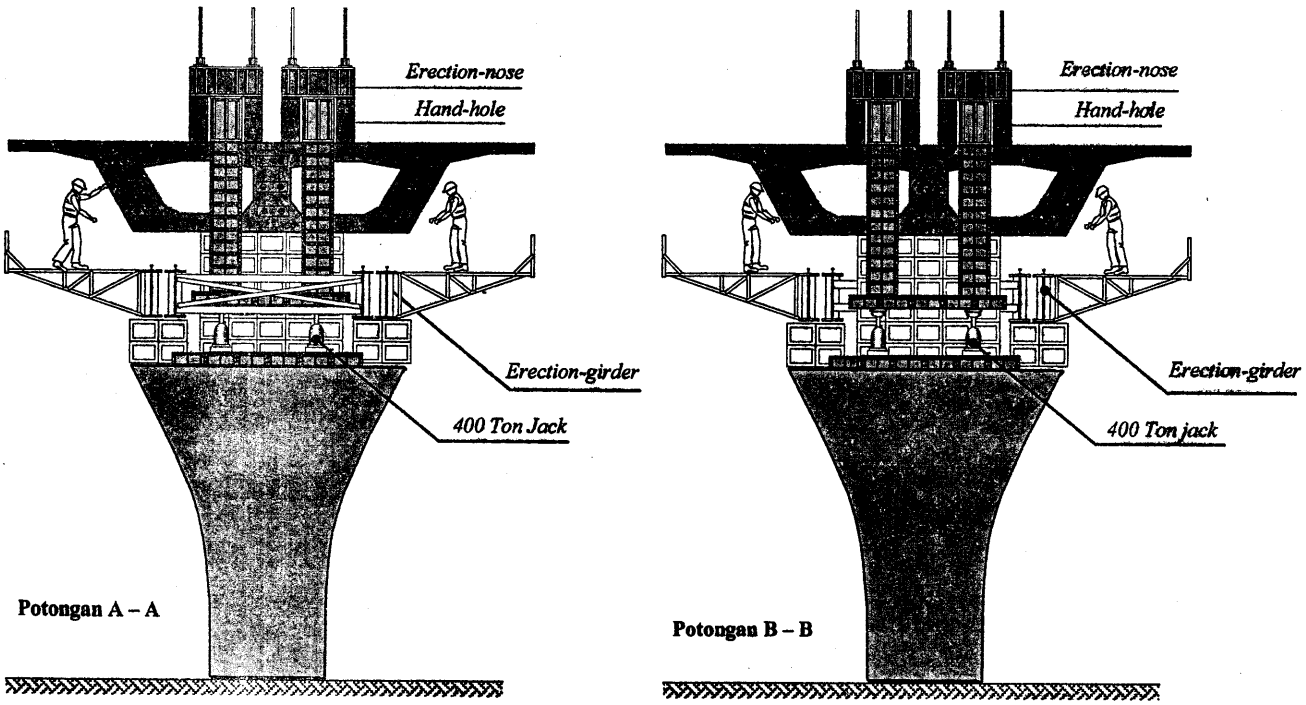


Gambar 3.29. *Pemasangan balok girder pertama kali diatas 2 pilar. Lokasi masih dibawah gantry crane*

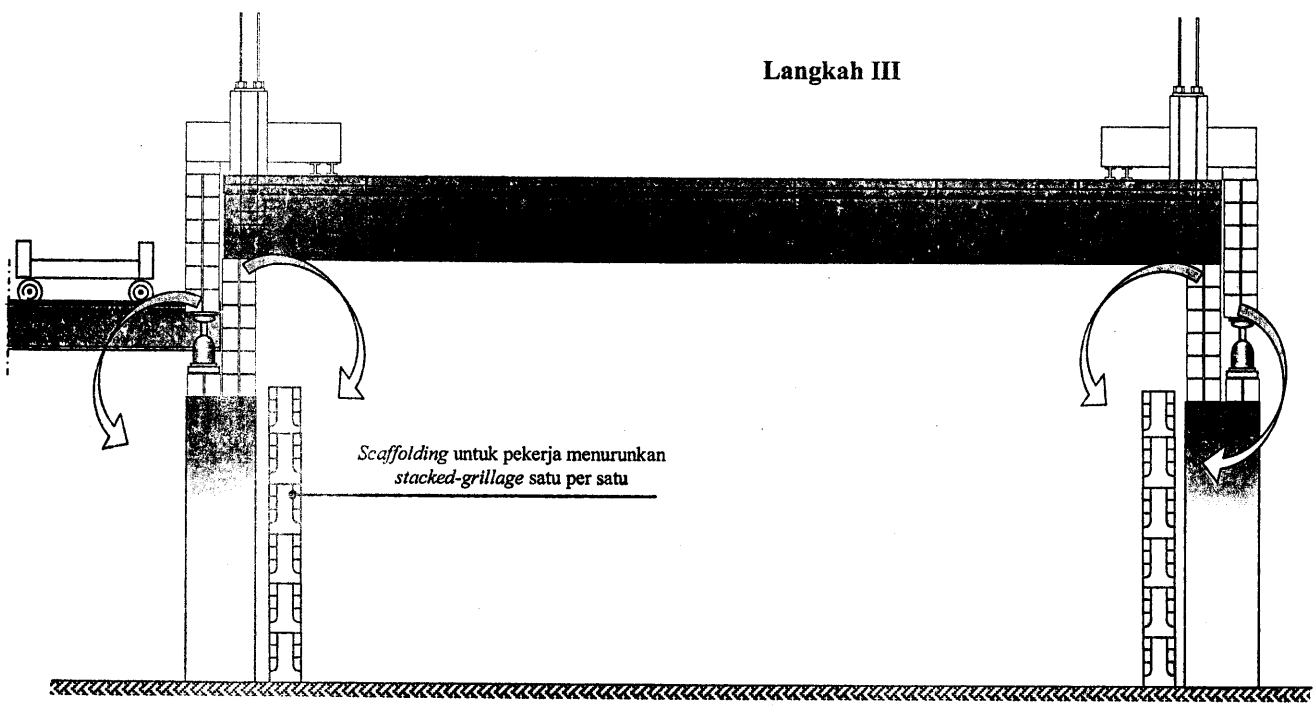


Gambar 3.30. *Pemasangan balok girder beton yang pertama kali*

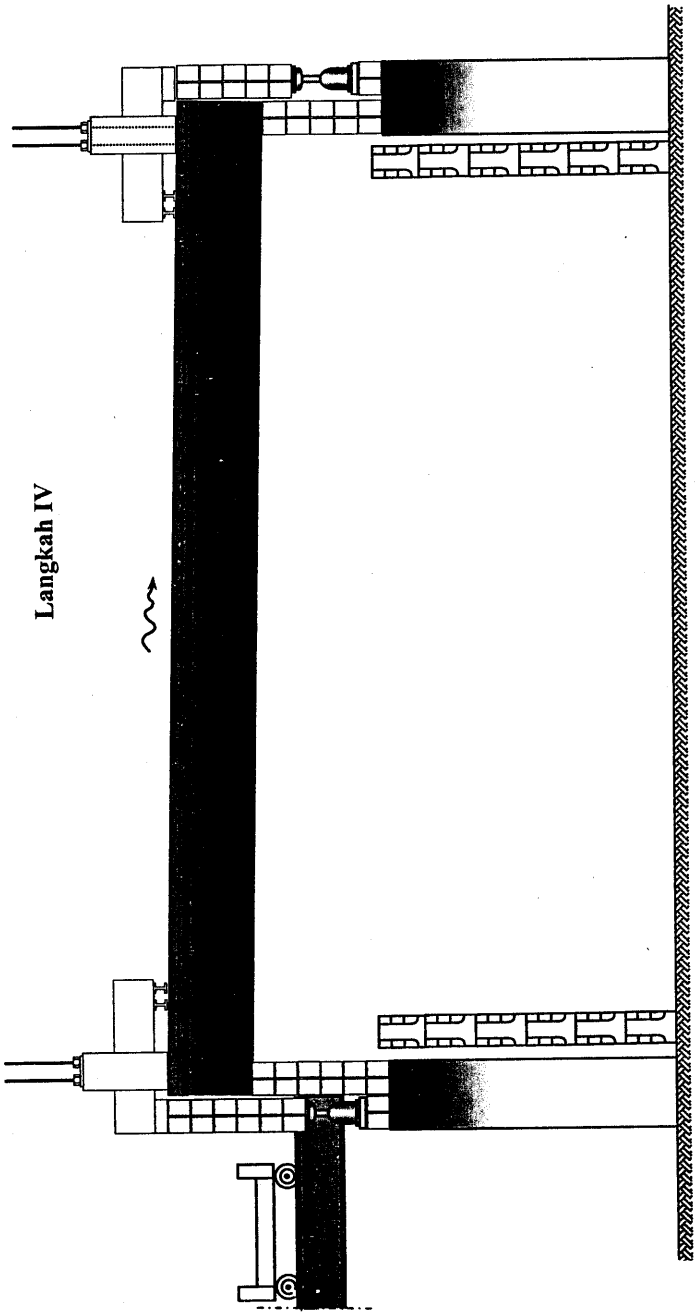
Langkah II (pada awalnya sebelum ada balok-girder-beton yang terpasang)



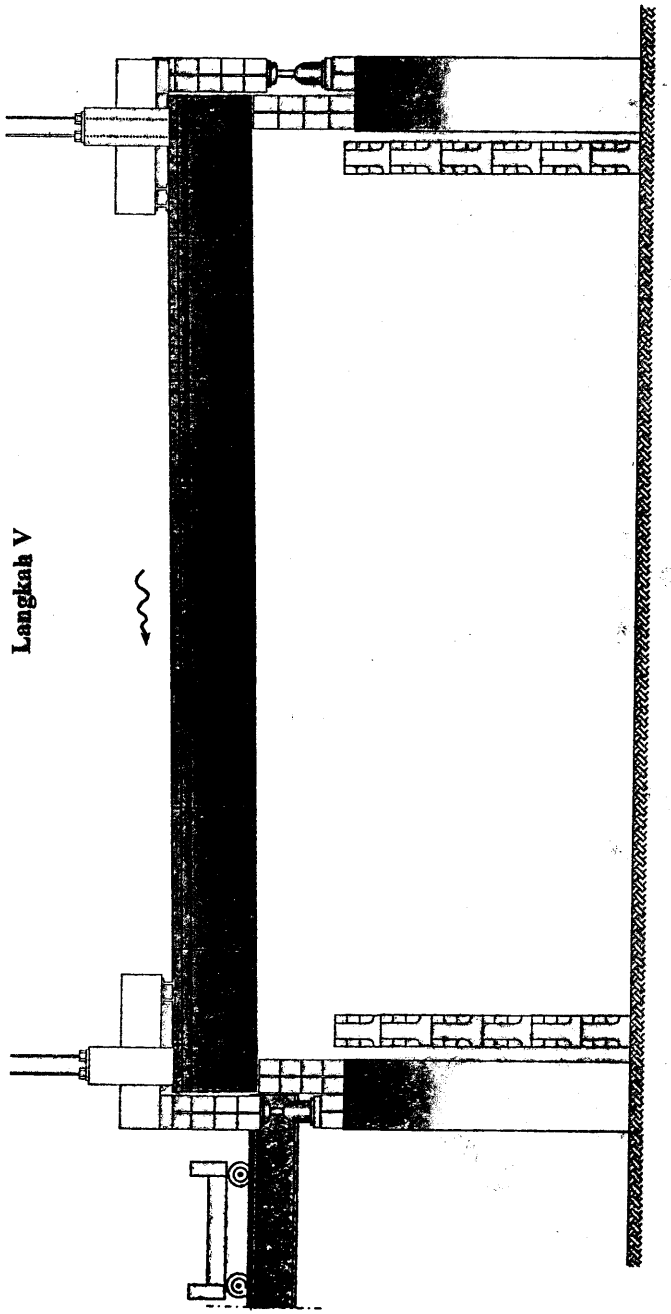
Gambar 9.31. *Pemasangan balok girder pertama kali di atas 2 pilar. Lokasi masih di bawah gantry crane*



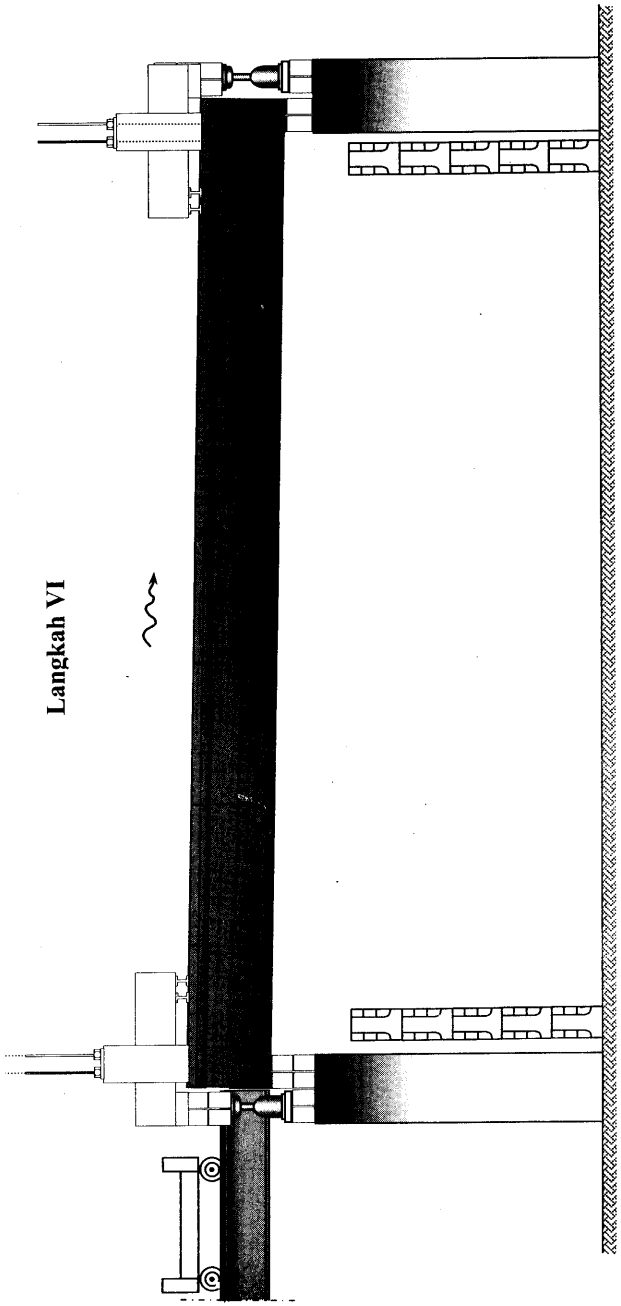
Gambar 9.32



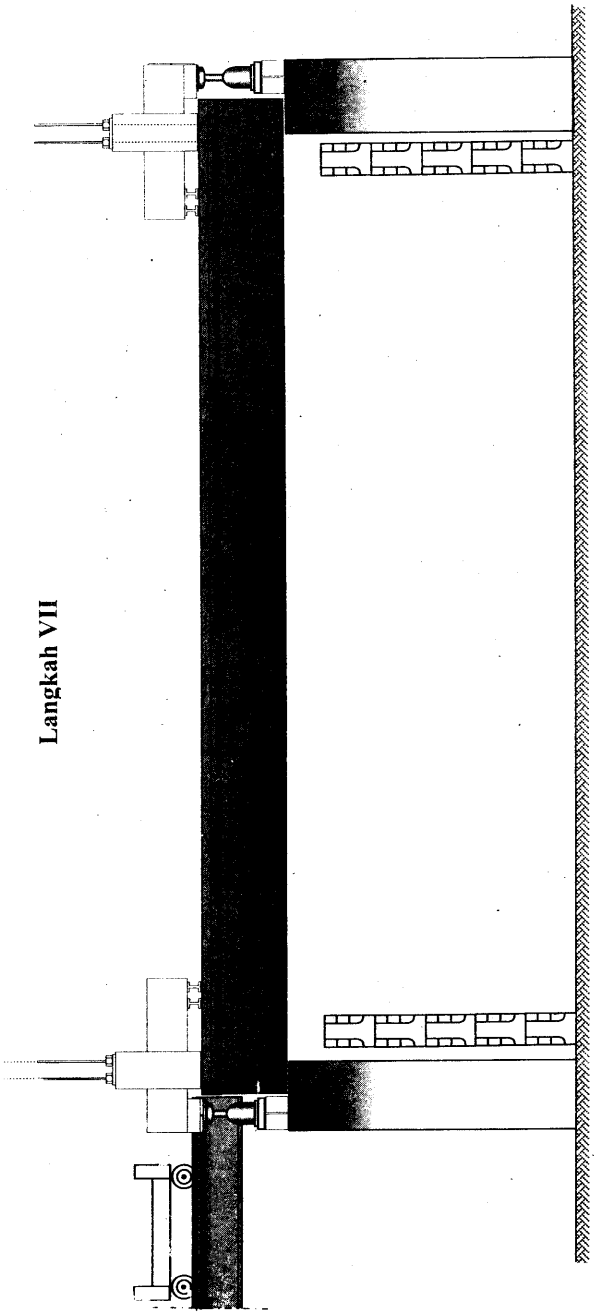
Gambar 9.33



Gambar 9.34

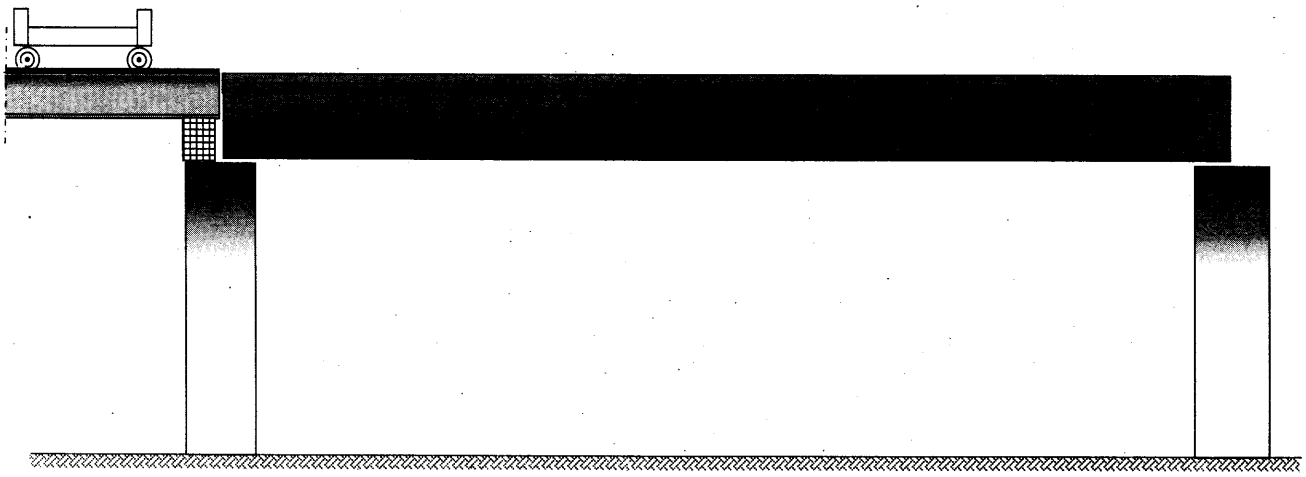


Gambar 9.35



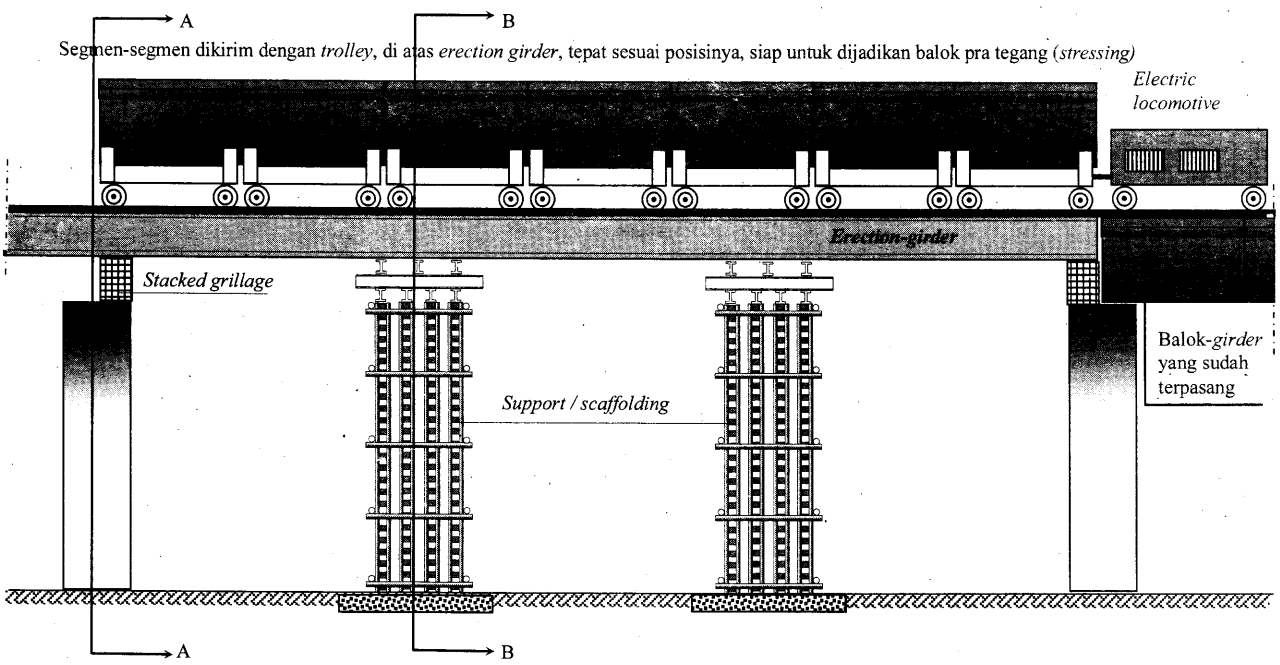
Gambar 9.36

Langkah VIII



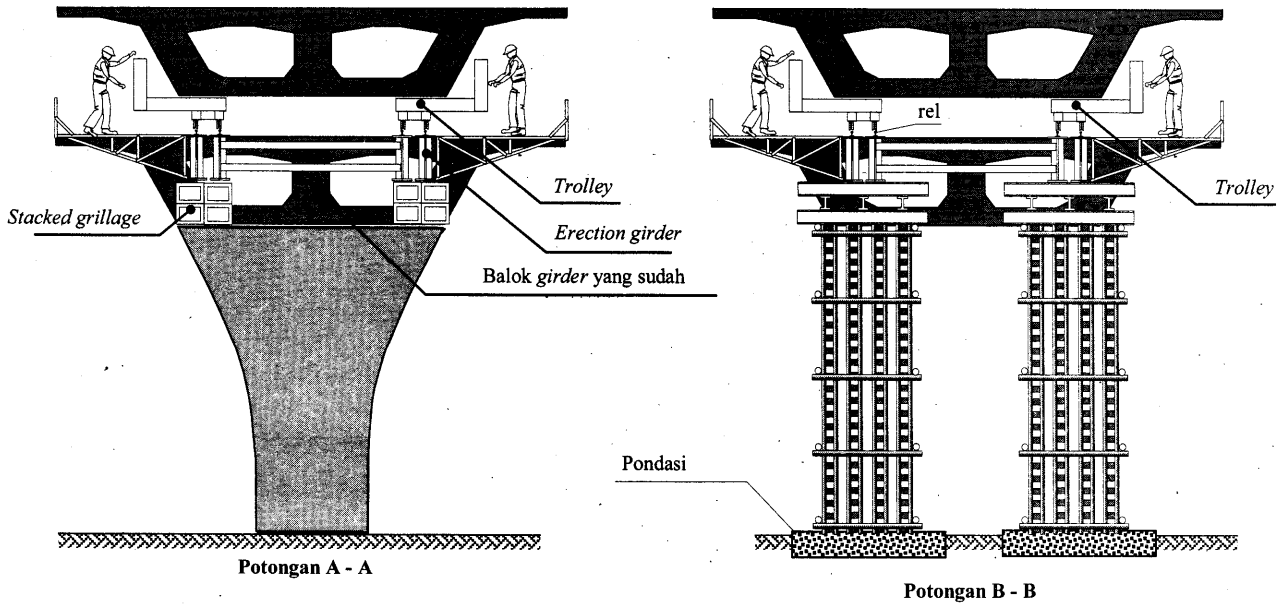
Gambar 9.37

Langkah IX (setelah ada balok-girder-beton yang terpasang)



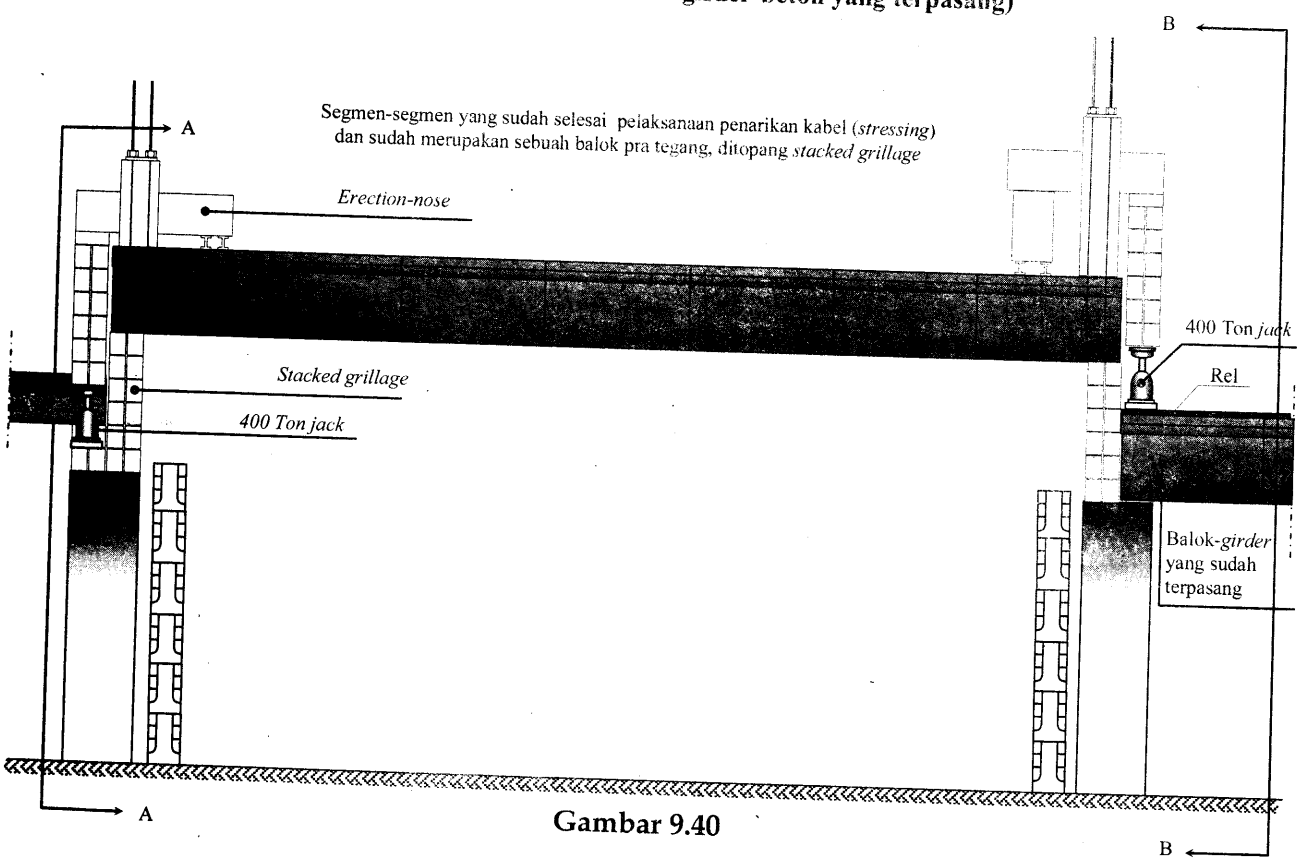
Gambar9.38 *Pemasangan balok girder pertama kali di atas 2 pilar setelah ada balok-girder-beton yang terpasang*

Langkah IX (setelah ada balok-*girder*-beton yang terpasang)

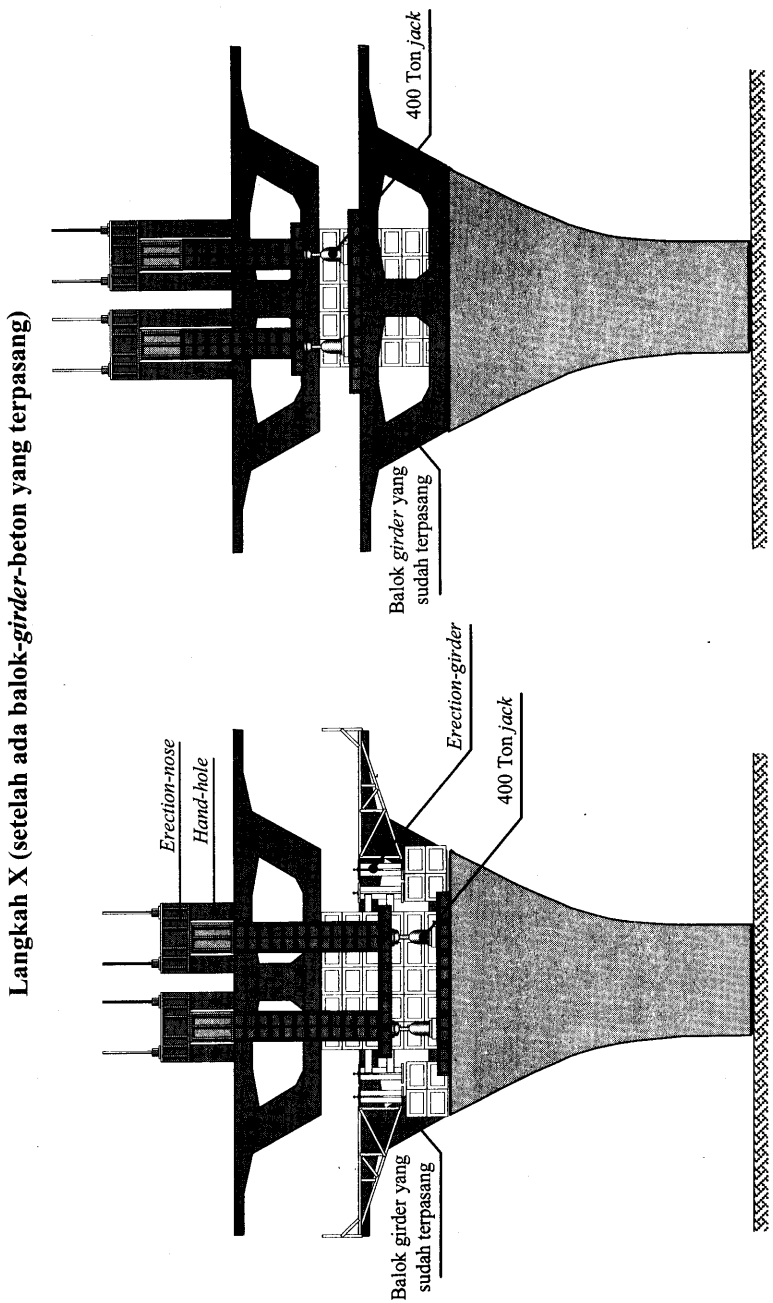


Gambar 9.39

Langkah X (setelah ada balok-girder-beton yang terpasang)



Gambar 9.40

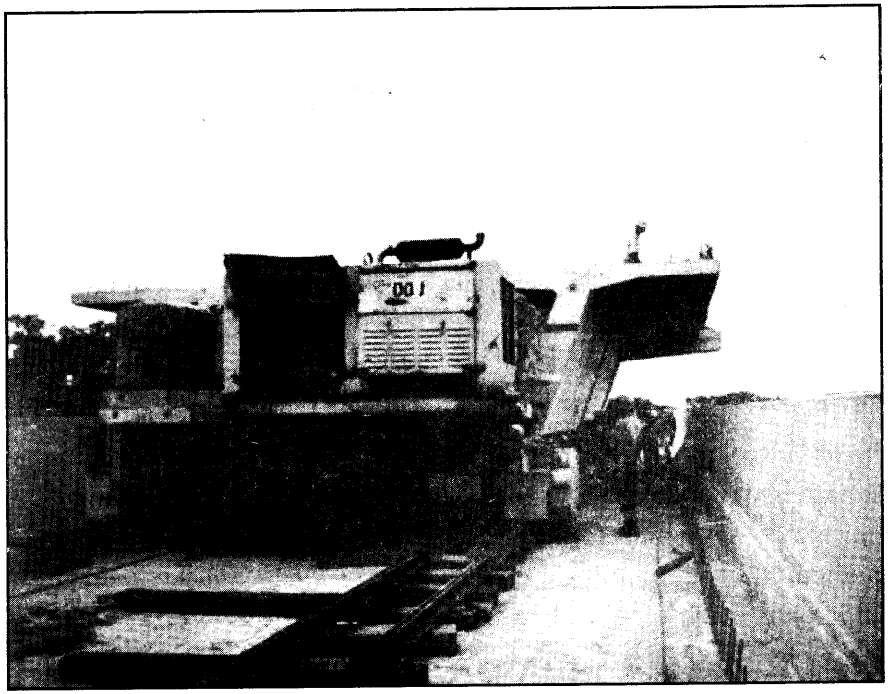


Gambar 9.41

Tahap VI. Pemasangan rel dan mengembalikan *trolleys* ke posisi di bawah *gantry-crane.*

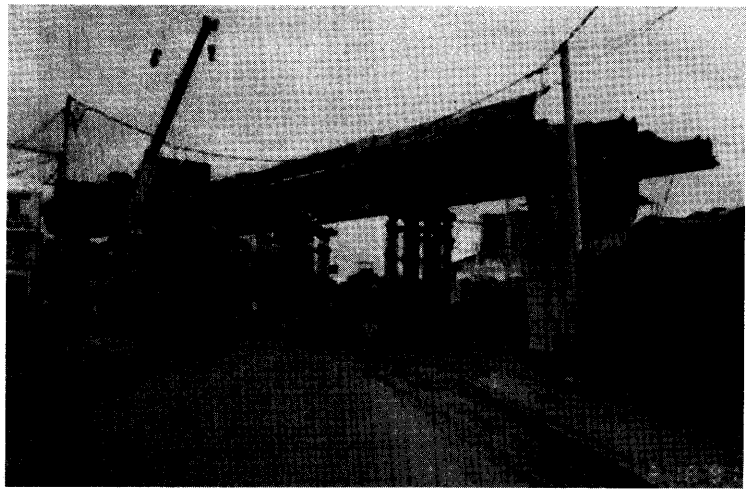
Setelah balok-*girder*-beton terletak pada sepasang pilar, langkah berikutnya adalah pemasangan dua pasang rel sementara yang menyambung dengan dua pasang rel pada *erection-girder*. Sumbu dari dua pasang rel harus berimpit dengan sumbu rencana dari balok-*girder*-beton, sehingga nantinya untuk meletakkan segmen-segmen pada *trolleys*, sumbu dari segmen-segmen tersebut juga harus tepat pada sumbu rencana dari balok-*girder*-beton. Perjalanan *trolleys* dengan menggunakan *electric-locomotive*. Pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan generator-set yang ikut dibawa *trolleys*. Karena *gantry-crane* tetap pada lokasi yang tertentu, maka setiap selesai pemasangan balok-*girder*-beton harus dipasang dua pasang rel sementara, untuk mondar-mandirnya rangkaian *trolleys* mengangkut segmen-segmen dari lokasi *gantry-crane* ke lokasi rencana pemasangan balok-*girder*-beton (lihat gambar 9.42).

Gambar 9.42. *Kegiatan pemasangan rel di atas balok-girder-beton yang sudah selesai terpasang. Rel ini untuk pengangkutan segmen-segmen beton dari lokasi gantry-crane ke lokasi launching balok-girder berikutnya.*

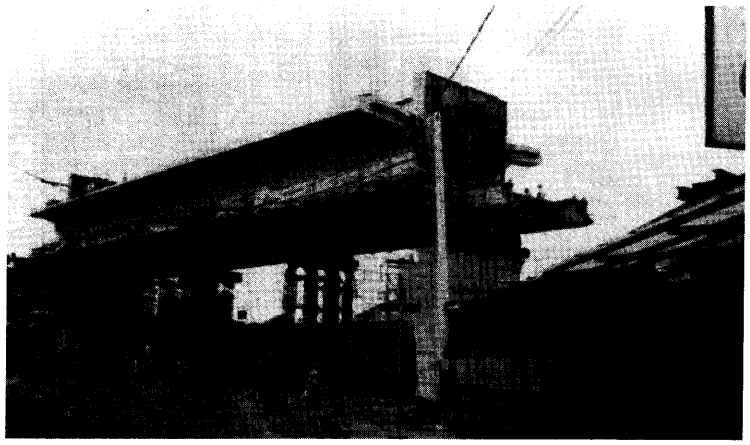


Gambar 9.43. *Kegiatan pengangkutan segmen-segmen beton dari lokasi gantry-crane ke lokasi pemasangan balok-girder-beton yang berikutnya. Tampak di kanan dan kirinya sudah terpasang parapet. Mesin genset yang tampak di latar depan untuk memberikan tenaga listrik pada electric-locomotive yang menarik rangkaian trolleys.*

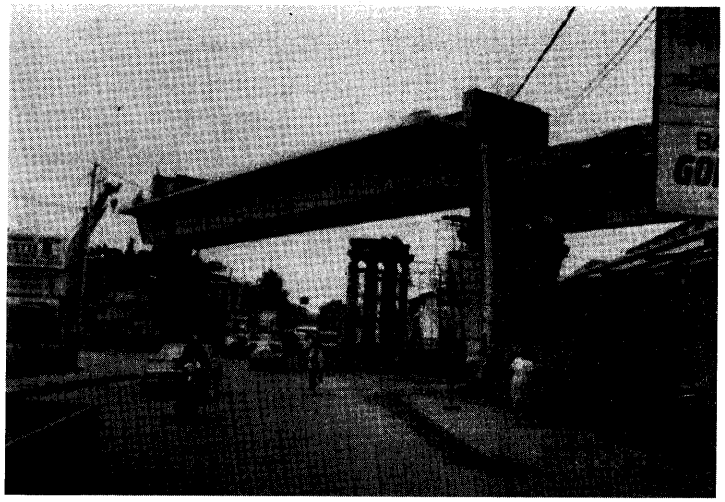
Berikut ini gambaran *sequence* pemasangan balok-*girder*-beton didaerah Gondangdia pada gambar 9.11, 9.45, dan 9.16). Bandingkan pula dengan jadwal waktu yang tercantum di bawah.



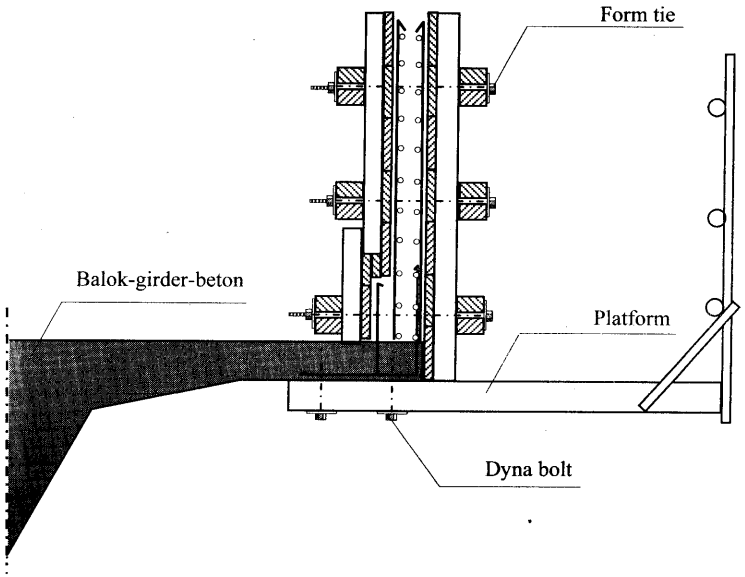
Gambar 9.44. *Balok-girder yang tampak di latar belakang selesai ditarik kabelnya (post tension), dan erection girder sudah digeser maju ke span berikutnya. Balok-girder yang tampak di latar belakang siap untuk diturunkan. Kejadian pada tanggal 18 Pebruari 1991.*



Gambar 9.45. *Balok-girder yang tampak di latar belakang selesai diturunkan. Di latar depan tampak balok-girder beton yang sudah selasai penarikan kabel (post tension), tetapi erection-girder belum digeser ke depan. Kejadian pada tanggal 26 Pebruari 1991.*



Gambar 9.46. *Balok-girder selesai ditarik kabelnya, erection-girder sudah digeser ke span berikutnya lagi, dan balok-girder siap untuk diturunkan/jack-down. Kejadian pada tanggal 28 Pebruari 1991.*



Gambar 9.47. *Cetakan Beton untuk Parapet*

Tahap VII. *Parapet*

Pekerjaan *parapet* ini dikerjakan terakhir kali, dan dapat juga dikerjakan secara simultan dengan pekerjaan struktur lainnya. Karena pekerjaan *parapet* terletak di pinggir kanan kiri dari sayap balok-*girder*-beton, perlu dibuat *platform* yang aman untuk para petugas mengerjakan cetakan beton dan pengecoran beton. *Parapet* ini dipertinggi pada daerah yang tidak boleh ada gangguan suara, misalnya pada jalur yang melewati masjid Istiqlal.

Jadwal Pemasangan Balok-*Girder*-Beton

No	Jenis Pekerjaan	Hari ke -											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Muat precast-segmen di lokasi pabrik beton												
2	Pengangkutan dan memindahkan precast-segmen di-atas trolleys (malam hari)												
3	Pengangkutan precast-segmen atau tahap I												
4	Merapatkan segmen-segmen dengan 30-Tons center-hole-oil-jack, pemasangan stacked-grillage, pemasangan erection-nose												
5	Prestressing												
6	Grouting												
7	Menggeser erection-girder kedepan												
8	Meletakkan balok-girder-beton pada pilar												
9	Memasang rel dan mengembalikan trolleys ke lokasi gantry-crane												

Gambar 9.48. *Jadwal pemasangan balok-girder*

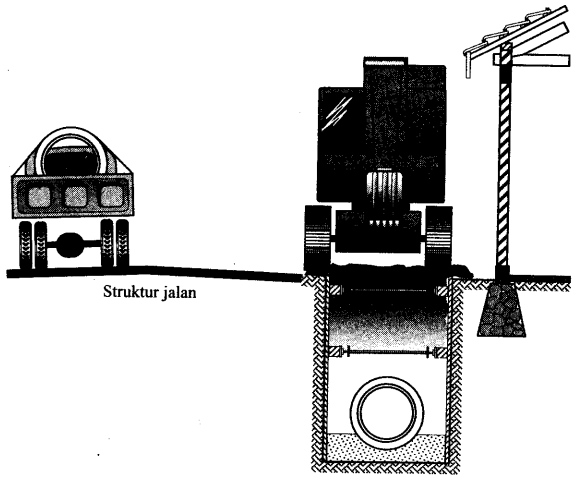
-oo0oo-

10

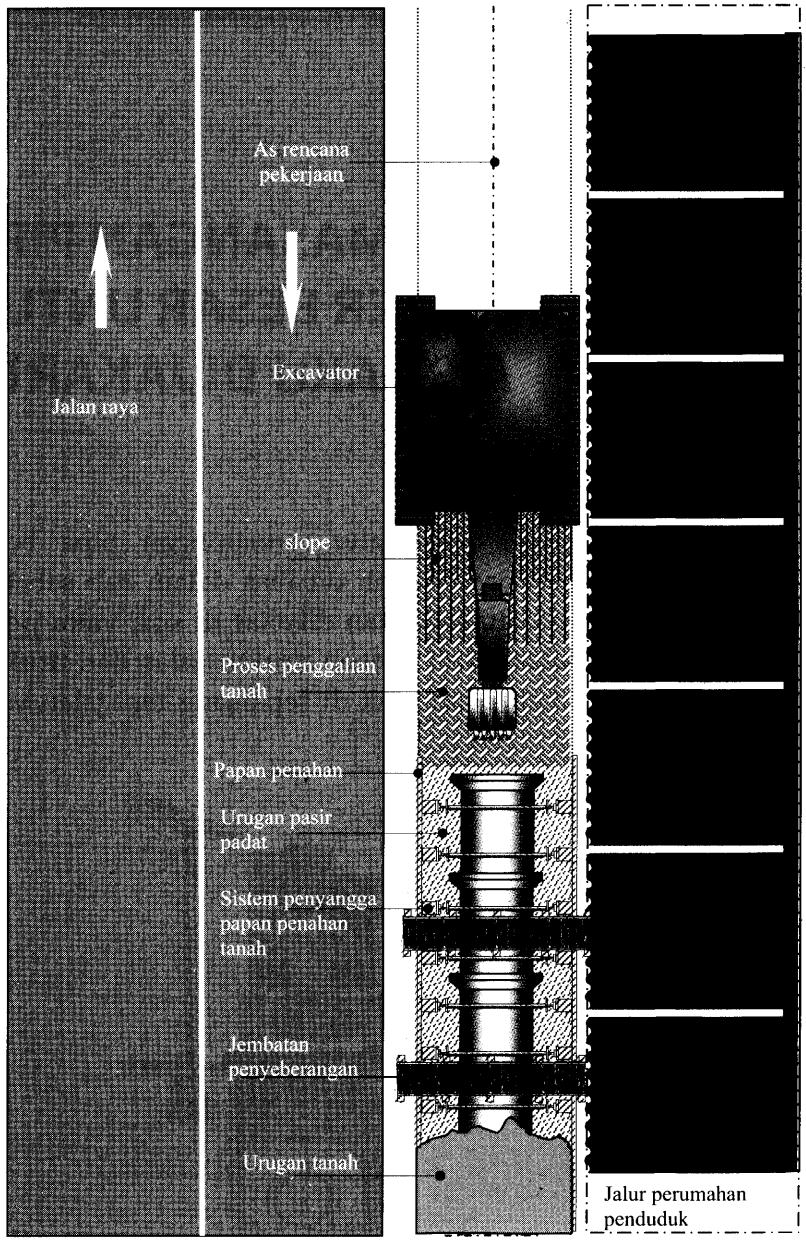
KASUS PEMASANGAN PIPA BETON DIAMETER BESAR UNTUK AIR BAKU DI JAKARTA

10.1 Penggalian Tanah

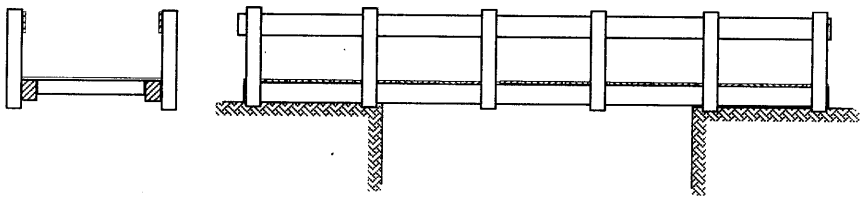
Penggalian tanah pada jalur pemasangan pipa beton ini, pada prinsipnya sudah dibahas dalam bab sebelum ini. Kasus tertentu saja akan dibahas di sini, yaitu penggalian yang sangat dekat sekali dengan struktur jalan dan struktur bangunan rumah-rumah penduduk di sepanjang tepi jalan yang akan digali.



Gambar 10.1. *Pandangan depan sistem penggalian*



Gambar 10.2. *Pandangan atas sistem penggalian*

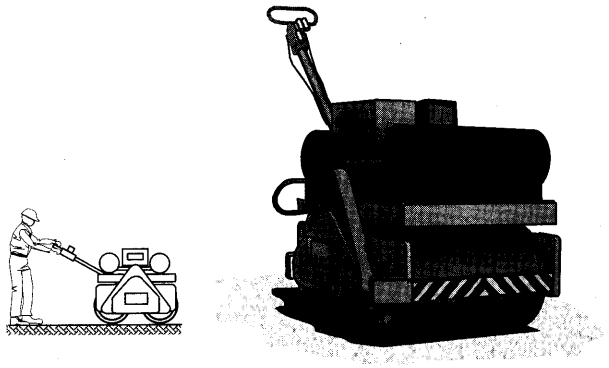


Gambar 10.3. *Jembatan penyeberangan sementara*

Penggalian seperti dalam gambar tersebut perlu ekstra pengamanan, karena rumah kediaman penduduk sepanjang jalan terlalu dekat dengan pinggir galian, sehingga perlu sistem penahan tanah sementara yang cukup kuat. Sistem penahan tanah ini jika masih memungkinkan dengan menggunakan *sheet-piles*, tetapi jika tidak memungkinkan maka cukup dengan menggunakan papan-papan berdiri penahan tanah, tekanan tanah pada papan diterima oleh balok kayu horisontal, dan balok kayu horisontal ini dihubungkan dengan pipa besi yang saling menahan kanan dan dan kiri galian. Pipa besi ini dilengkapi dengan landasan dan mur baut (*screw-jack*) untuk menekan keluar sehingga pinggir tanah tertekan keluar. Sudah dengan sendirinya bahwa papan maupun balok horisontal harus dihitung kekuatan strukturnya, sehingga mendapatkan dimensi masing-masing. Penduduk tidak boleh terganggu dengan adanya kegiatan ini, sehingga perlu dibuat beberapa jembatan sementara yang mudah diangkat pada setiap rumah.

Penggalian dilaksanakan dengan *excavator* kecil secukupnya, dengan panjang galian secukupnya untuk pemasangan satu buah pipa, dan kedalaman secukupnya untuk segera dipasang sistem penahan tanah, kemudian sisa penggalian diselesaikan dengan tenaga manusia. Hal ini adalah untuk menjaga bahaya longsor dan penurunan tanah di bawah bangunan. Kemudian segera dilaksanakan pemadatan tanah dasar dan pemadatan pasir. Setelah timbunan pasir tersebut dipadatkan kemudian dibentuk sesuai segmen dari pipa dengan menggunakan mal dari kayu, sehingga sewaktu pipa diletakan sudah tepat bentuk tempat dudukannya.

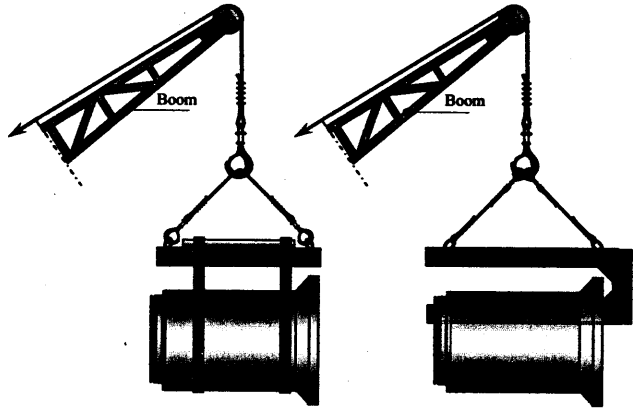
Pada selang pemasangan sepanjang ± 6,00 M perlu segera pengurugan tanah kembali dan dipadatkan sesuai spesifikasi. Karena lokasi sangat sempit pemadatan cukup dengan menggunakan mesin, vibro plate (gambar 5.4), rammer (gambar 5.5), dan vibro roller yang kecil (gambar 10.4)



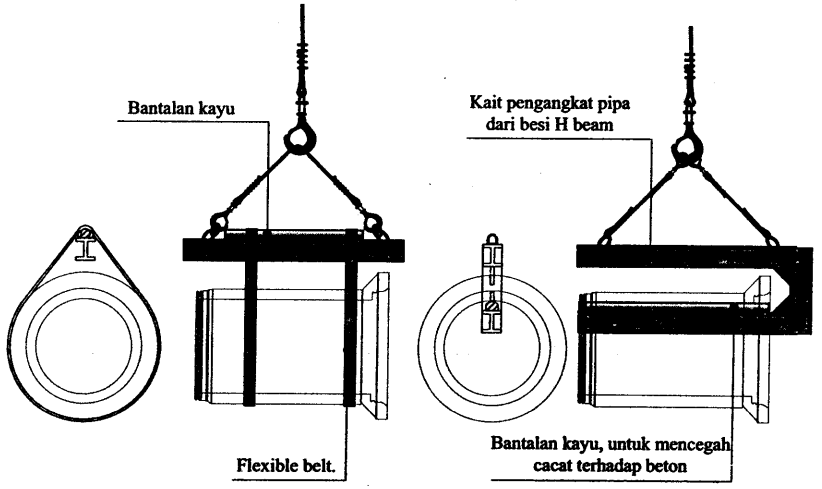
Gambar 10.4. *Sketsa vibro-roller yang kecil, ada yang menyebut baby-roller. Cara menjalankan seperti gambar di sebelah kiri*

10.2 Pemasangan Pipa pada Galian terbuka (*Open Trench*)

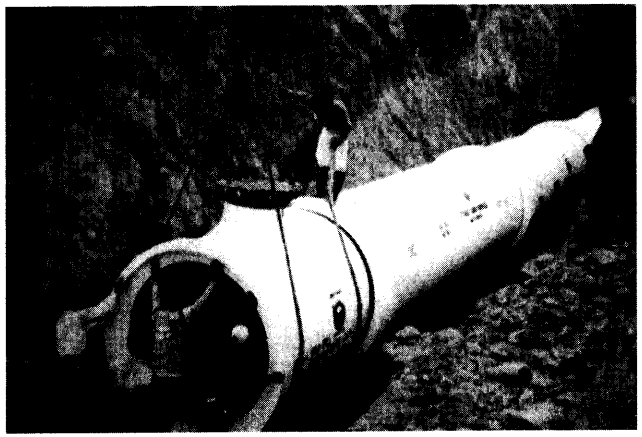
Pemasangan sedapat mungkin dengan cara galian terbuka, karena lebih cepat, lebih mudah dan metode kerja yang lebih murah. Pemasangan yang paling mudah dengan *mobile-crane*. Mengkaitnya ke pipa beton diusahakan agar beton tidak terluka dan mudah untuk pemasangannya. Ada dua cara, pertama dengan *flexible belt* (sabuk) dan cara lain dengan kait besi yang kuat. Dari hasil pengalaman pada proyek pemasangan pipa air baku yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya (persero), dengan cara menggunakan kait dari besi baja (steel-hair-pin) lebih mudah, lebih cepat, dan lebih aman. Sedangkan dengan menggunakan sabuk atau dengan menggunakan *steel-wire* cara memasang dan melepas lebih sulit, demikian juga keamanan kurang terjamin (gambar 10.5, 10.6, 10.7, 10.8). Untuk pemasangan agar sesuai dengan garis rencana harus diikuti dengan alat ukur *laser-beam-aligner*.



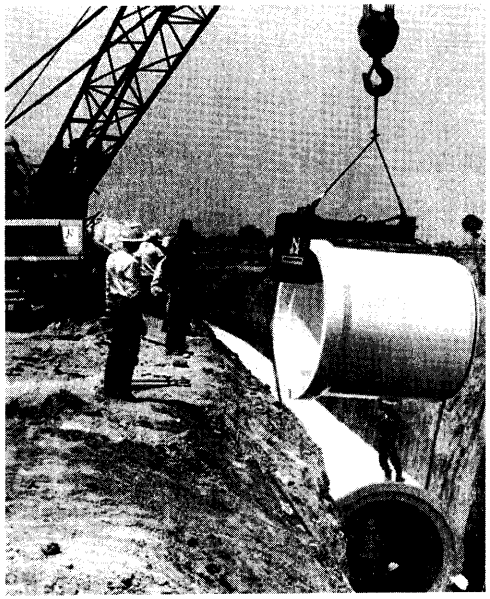
Gambar 10.5. *Cara mengangkat agar pipa beton tidak mengalami cacat/rusak.*



Gambar 10.6. *Konstruksi alat pengangkat pipa beton, sebelah kiri dengan flexible-belt (sabuk), dan sebelah kanan dengan kait dari besi baja (steel-hair-pin). Dengan menggunakan sabuk lebih sulit cara memasang dan melepas, demikian juga tidak terjamin keamanannya*



Gambar 10.7. *Pemasangan pipa dengan menggunakan steel-wire, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)*



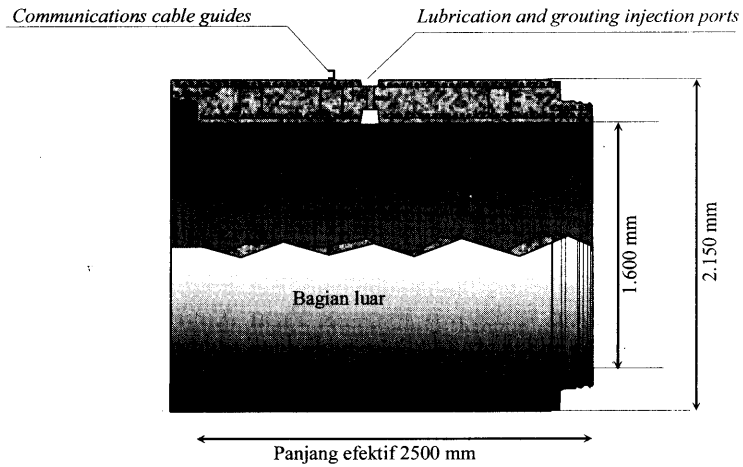
Gambar 10.8. *Pemasangan pipa dengan menggunakan steel-hair-pin, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)*

10.3 Pemasangan Pipa di bawah Permukaan Tanah dengan Cara *Jacking*

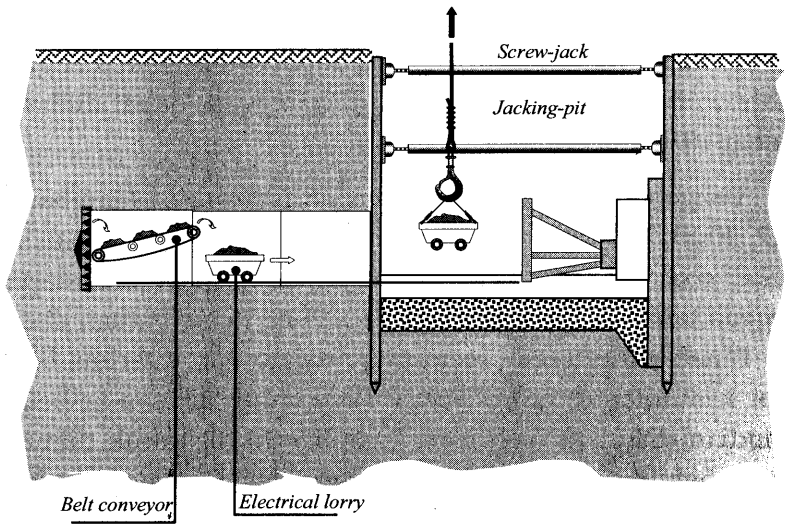
Pemasangan pipa karena alasan-alasan tertentu, tidak bisa dengan galian terbuka, maka terpaksa harus dengan sistem *jacking*. Yaitu dengan mesin yang membuat terowongan di dalam tanah atau tanah batuan (ada yang menyebut sebagai mechanical-mole), dan pipa didesak masuk ke dalam terowongan tersebut. Kasus ini banyak terjadi pada pemasangan pipa di dalam kota, yang jalurnya terpaksa harus bersilangan dengan jalan protokol yang tidak bisa ditutup. Dalam pembahasan kasus ini diambil dari Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, dengan Konsultan Supervisi PT. Virama Karya – Haskoning dan Kontraktor Pelaksana adalah PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. *Jacking-pipe* yang digunakan dan yang akan dipasang, dibuat oleh PT. Dusaspun, dengan diameter luar 2.150 mm, diameter dalam 1.600 mm, panjang efektif 2.500 mm, dengan kemampuan menerima *jacking-force* 1.473 ton. Antara kontak beton dipasang kayu keliling (*soft-wood-packer*) agar gaya yang diterima pipa sebelah depan dari desakan pipe sebelah belakang dapat merata dan menghindari pecahnya beton. Gambar potongan *jacking-pipe* dapat dilihat pada gambar 10.9.

Pengeboran awal adalah dengan *boring-head* (gambar 10.11, 10.12, 10.13, 10.14), merupakan alat untuk mengebor tanah sambil ditekan oleh *main jack*. Pada bagian depan *boring-head* terdapat alat penggali tanah berupa gigi-gigi pemotong tanah batuan di depannya. Tanah yang tergali menuju ke dalam dan diterima belt-conveyor kemudian diterima *electric-lorry* untuk dibawa ke belakang, kemudian diangkat oleh *crane* (gambar 10.10) untuk dibuang ke tempat pembuangan yang sudah disetujui. Di dalam *boring-head* dan *jacking-pipe* sudah dipasang rel untuk *electric-lorry* tersebut. Dalam pelaksanaan ini perlu ada lubang untuk awal memasukkan *boring-head* dan lubang pada akhir pekerjaan *pipe-jacking*, yaitu un-

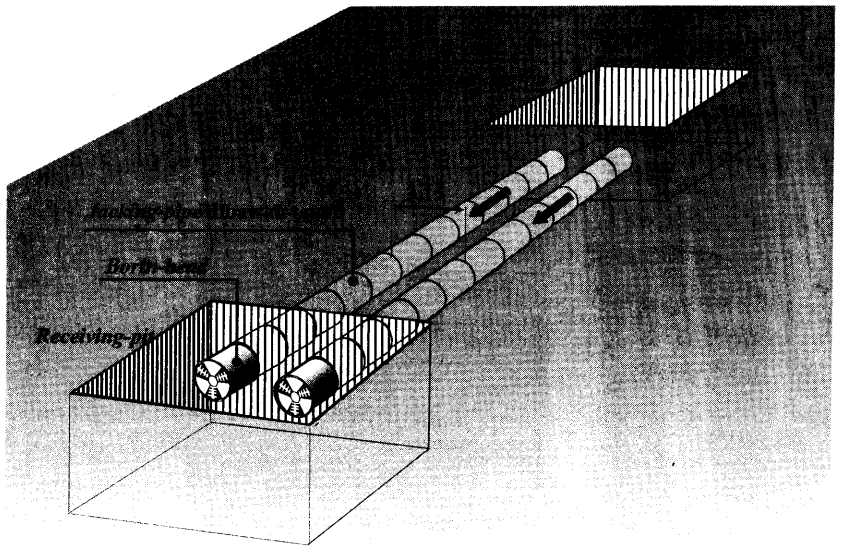
tuk mengeluarkan *boring-head*, jadi ada *jacking-pit* dan *receiving-pit* (gambar 10.11).



Gambar 10.9. *Jacking-Pipe*



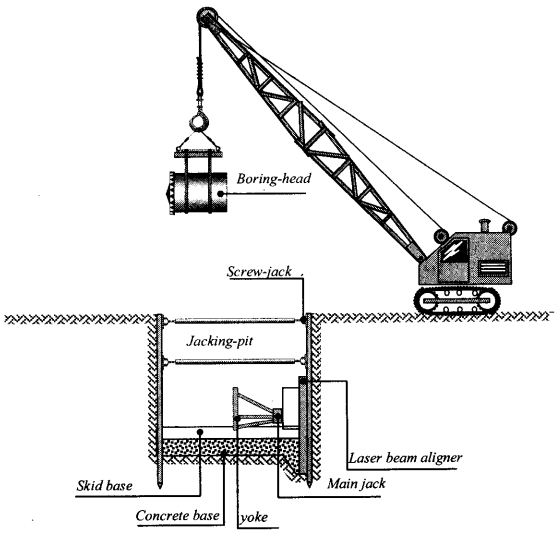
Gambar 10.10. *Cara pengeboran dan penggalian tanah dengan jacking-pipe system.*



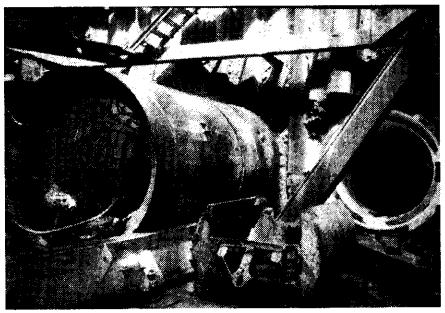
Gambar 10.11. *Lubang awal untuk memasukkan boring-head (jacking-pit) dan lubang pada akhir pekerjaan pipe-jacking untuk mengeluarkan boring-head (receiving-pit)*

Jacking-pit dan *receiving-pit* merupakan galian tanah yang cukup dalam dan lebar dan dengan posisi vertikal, karena biasanya dengan metode kerja semacam ini dilakukan pada daerah padat penduduk dan di tengah kota, sehingga perlu struktur penahan tanah yang ditahan oleh penopang pipa besi dilengkapi dengan *screw-jack*. Masalah struktur penahan tanah ini sudah dibahas dalam bab sebelumnya.

Boring-head yang dipakai adalah Akkerman (USA), dilengkapi dengan *cutter* untuk memotong tanah di depannya. Gaya dari 2 buah *main-jack* mempunyai kekuatan dorong masing-masing 200 ton atau semuanya 400 ton, yang akan menekan pipa melalui *yoke* (gambar 10.12).

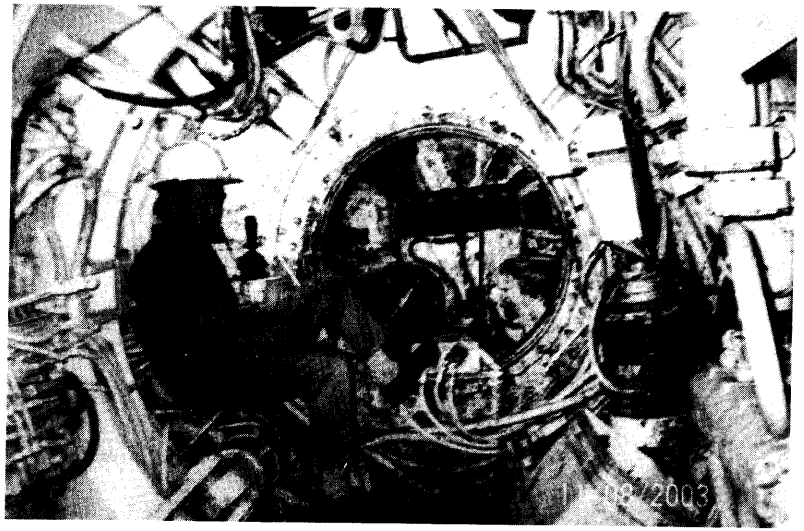


Gambar 10.12. *Cara memasukkan boring-head pada awal pekerjaan ke dalam jacking-pit; kemudian boring-head ditekan oleh dua buah main-jack masing-masing 200 Ton atau dengan jumlah kekuatan 400 Ton, dengan melalui bentuk frame yang disebut yoke.*

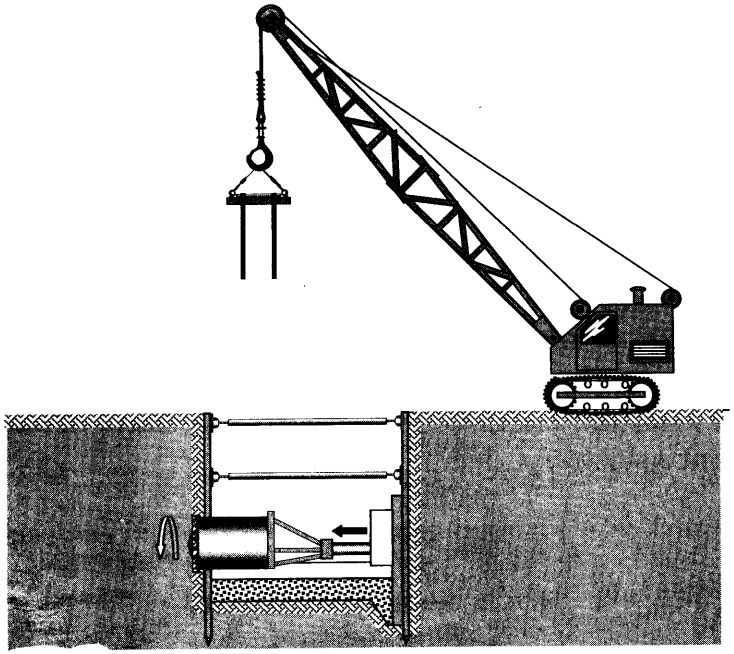


Gambar 10.13. *Boring-head (kiri) di dalam jacking-pit. Sebelah kanan bawah adalah lorry untuk pengambilan tanah hasil galian boring-head (lihat juga gambar 10.10). Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)*

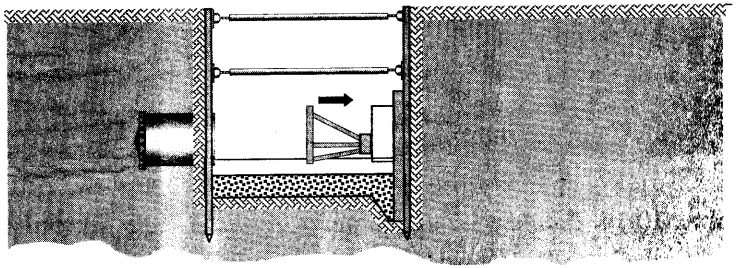
Setelah *boring-head* terletak di atas *skid-base* di dalam *jacking* pit, *yoke* menekan *boring-head* dengan gaya yang diterima dari *main jack, cutter* pada ujung depan *boring-head* juga harus mulai dijalankan (gambar 10.13). Setelah *ring yoke* bagian depan mendekati permukaan dinding, sesuai dengan tahap *stroke main jack*, penekanan pada *boring-head* dihentikan. *Yoke* ditarik mundur kembali sampai mendapatkan ruang yang cukup untuk menempatakan *jacking-pipe* yang pertama (*lead-jacking-pipe*) (gambar 10.16, 10.17). *Lead-jacking-pipe* diturunkan setelah *boring-head* sepenuhnya sudah lepas dari *skid base*, sedangkan pemasangan *jacking-pipe* yang kedua dan seterusnya dilakukan pada saat *jacking* pipa didepannya masih sebagian di atas *skid base*.



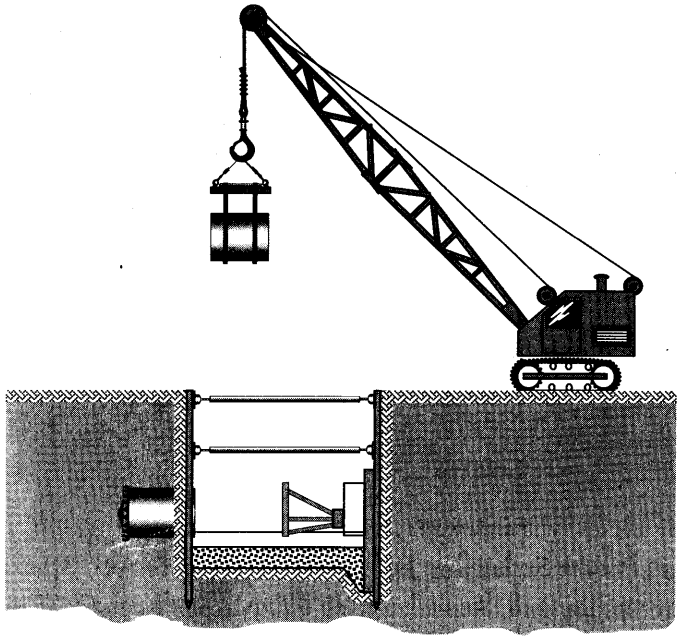
Gambar 10.14. *Pandangan di dalam boring-head. Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)*



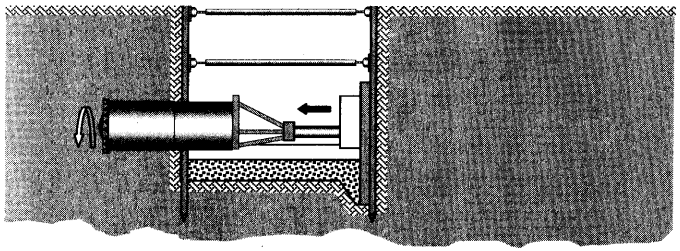
Gambar 10.15. *Metode kerja awal pengeboran dengan boring-head menerima desakan dari main-jack melalui yoke; bersamaan dengan itu cutter pada ujung depan boring-head juga harus mulai dijalankan*



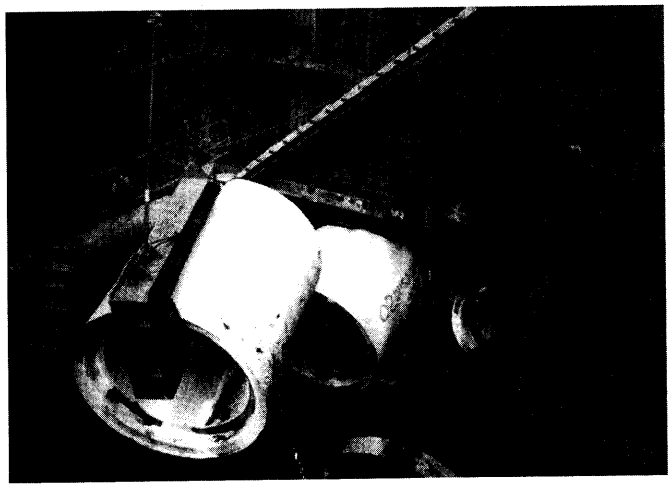
Gambar 10.16. *Bagian belakang dari boring-head setelah mendekati dinding, dan ruang sudah cukup untuk meletakkan sebuah jacking pipe, yoke ditarik mundur.*



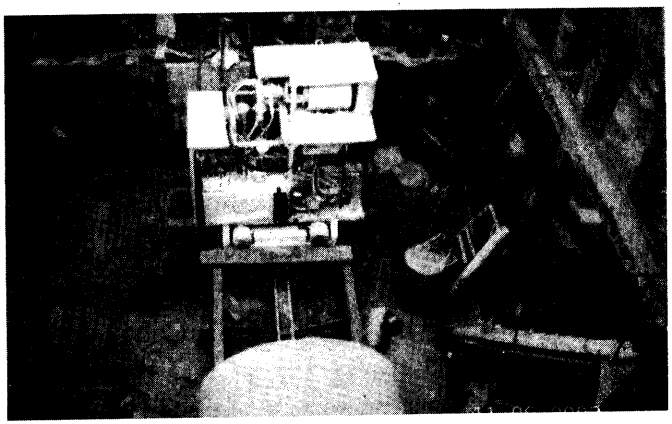
Gambar 10.17. *Crane siap memasukkan jacking-pipe yang pertama (lead-jacking-pipe).*



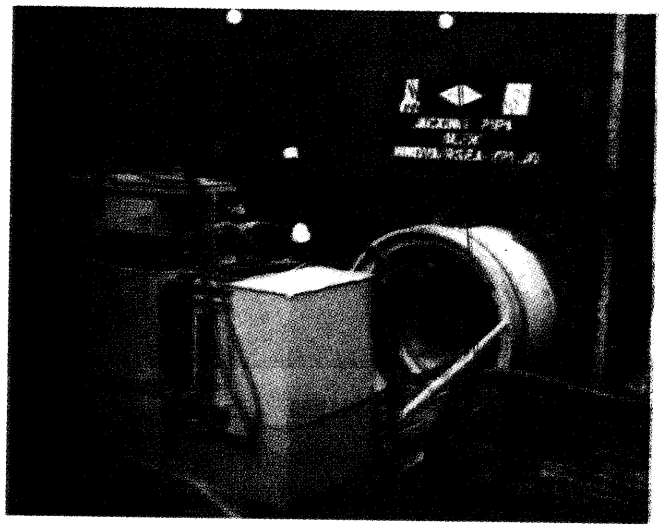
Gambar 10.18. *Lead-jacking-pipe ditekan, dan bagian depan boring-head berputar untuk menggali tanah didepannya.*



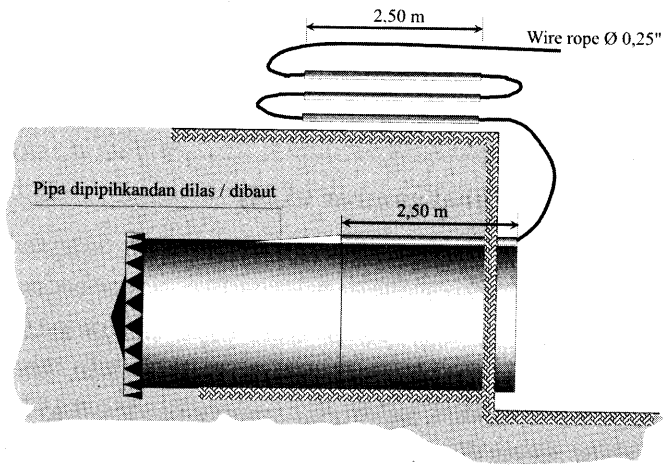
Gambar 10.19. *Menurunkan pipa beton ke dalam jacking-pit. Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)*



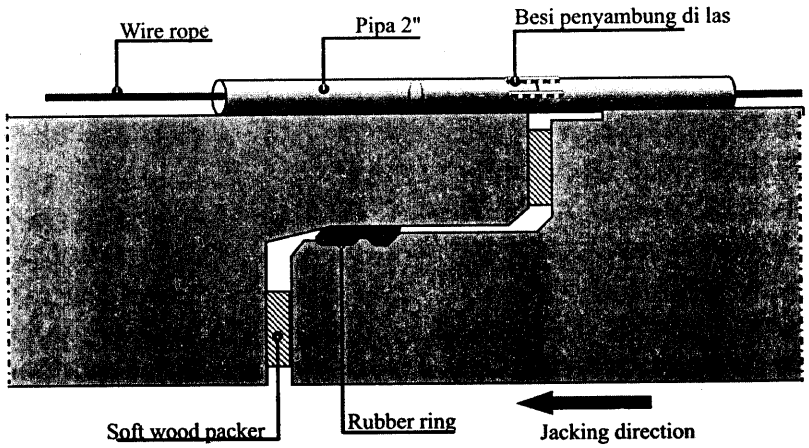
Gambar 10.20. *Main-jack tampak dari atas. Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)*



Gambar 10.21. *Main-jack menekan pipa melalui yoke. Foto diambil pada Proyek Serbaguna Jati Luhur – Bagian Proyek Pipa Air Baku Pejompongan, yang dilaksanakan oleh PT. Nindya Karya/RSEA – Yala, J.O. (Penampilan foto atas seijin PT Nindya Karya)*



Gambar 10.22. *Pemasangan pipa Ø 2" untuk komunikasi pada boring-head dan lead pipe*



Gambar 10.23. *Penyambungan pipa Ø 2" untuk komunikasi antara jacking-pipe*

Sebelum diproses penekanan pada *lead-jacking-pipe*, perlu dipasang beberapa peralatan di antaranya,

- *wood ring spacer*, antara *yoke* dan lead *jacking-pipe*
- *wood ring spacer*, antara *lead pipe* dan *boring-head*
- peralatan untuk komunikasi, berupa pipa besi Ø 2" dan *steel-wire-rope* Ø 0,25" (lihat gambar 10.23)
- *hydraulic-line-hoses*
- instalasi pipa udara
- instalasi lubrikasi (lihat gambar 10.24)
- instalasi penerangan
- instalasi komunikasi

Selama proses *jacking*, posisi dari pipa harus selalu dicek dengan *laser-beam-aligner*. Untuk petugas di dalam *boring-head* perlu ada alat komunikasi, sehingga semua proses dan kebutuhannya di dalam *boring-head* dapat diikuti petugas yang berada di luar. Peralatan untuk komunikasi ini, dipasang pipa besi Ø 2" dan di dalamnya dipasang *steel-wire-rope* Ø 0,25". Pipa Ø 2" tersebut dibuat beberapa penggal masing-masing sepanjang 2,50 m sesuai

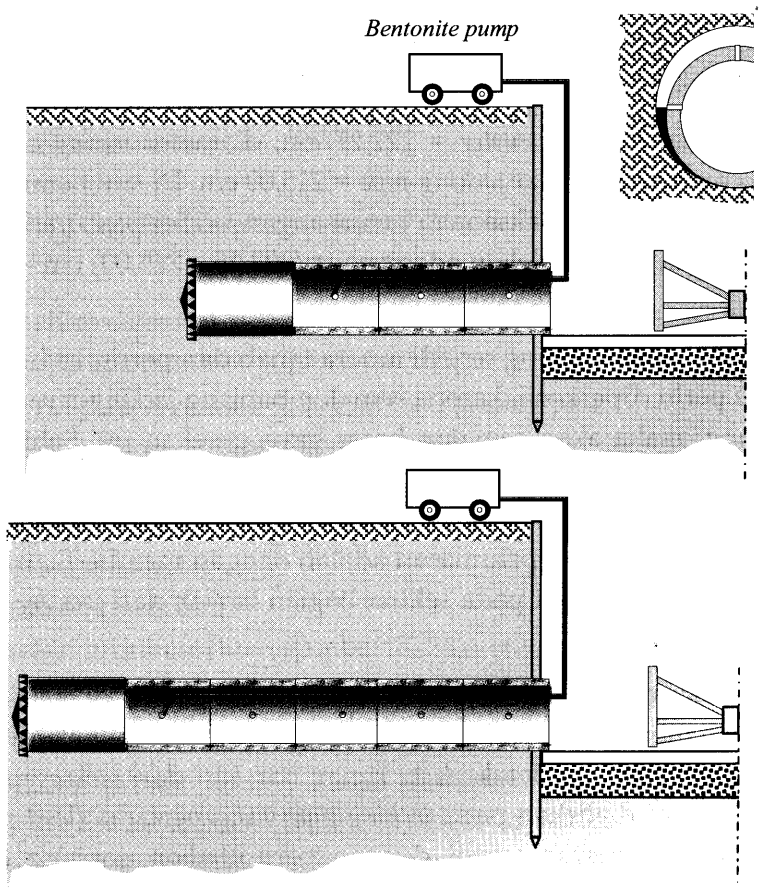
panjang *jacking-pipe*, sampai mempunyai panjang sesuai panjang *jacking-pipe* yang dipasang (gambar 10.22, 10.23). Pipa yang pertama ujungnya dipipihkan dan dikaitkan dengan badan *boring-head* bagian atas melalui sambungan las atau mur baut. Setelah *jacking-pipe* berikutnya diturunkan ke dalam *jacking-pit* dan sudah siap posisinya, maka pipa Ø 2" berikutnya dihubungkan dengan pipa yang pertama dengan las. Penempatan pipa Ø 2" tersebut sudah ditentukan lokasinya dengan dipasangnya *cable-guides* di atas setiap *jacking-pipe* sehingga posisi pipa Ø 2" tersebut tidak berubah selama proses *jacking*.

Diameter *boring cutter* = 222,25 cm; diameter *boring-head* = 218,44 cm; diameter luar *jacking-pipe* = 215,00 cm. Di sini berarti secara teoritis dalam pelaksanaan pemasangan *jacking-pipe*, pada potongan melintangnya selalu ada rongga (222,25 - 215,00) cm = 7,25 cm.

Gaya gesekan yang terjadi antara tanah dan permukaan *jacking pipa* perlu diperkecil, karena semakin panjang *jacking-pipe* yang terpasang, maka akan semakin besar gaya gesekan ini. Sehingga perlu ada pelumas untuk mengurangi semakin besarnya gaya gesek ini. Pelumas yang dipakai adalah campuran dari 40 kg *bentonite* dan 420 liter air. Cara pelumasan adalah dengan memberikan material pelumas tersebut pada sekitar bagian bawah dari *jacking-pipe* (gambar 10.24)

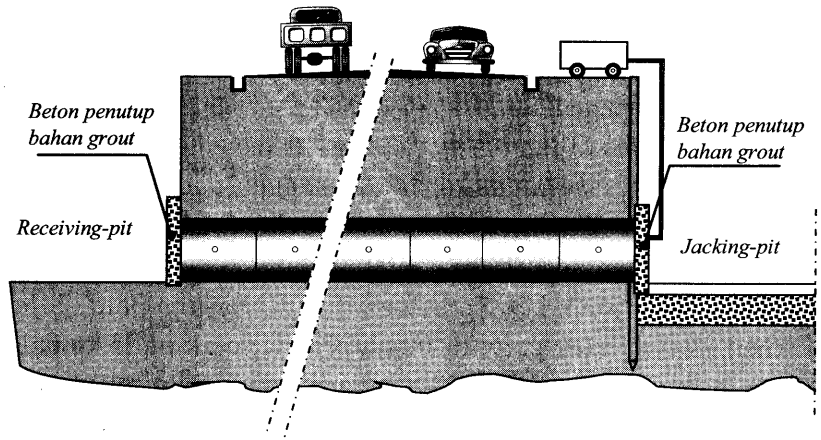
Pelaksanaan pelumasan ini dilaksanakan pada saat *main-jack* berfungsi mendorong *jacking-pipe*, dengan dialirkan melalui lubang Ø 1 ½" yang terletak pada kanan dan kiri dari *jacking*-pipe. Pelumasan ini dialirkan pada *jacking-pipe* yang pertama (*lead pipe*) secara terus menerus sesuai dengan penambahan panjang dari *jacking-pipe* yang masuk. Material pelumas ini tidak melebihi dari segment setengah lingkaran bagian bawah dari *jacking-pipe*, dengan cara mengontrol material pelumas yang meluap keluar dari lubang-lubang kanan dan kiri dari semua *jacking-pipe* yang berada

di belakang *lead pipe*. Dari pelaksanaan ini bahan pelumas yang diperlukan untuk setiap pipa yang masuk rata-rata 125 liter. *Bentonite* yang dipakai dengan kapasitas 500 gallon dengan menggunakan tekanan 250 psi. Bahan pelumas dipompakan melalui pipa Ø 2", dan di dalam *lead pipe* bercabang dua, dihubungkan dengan flexible-hose menuju kedua lubang pada kanan dan kiri dari *lead pipe*.



Gambar 10.24. *Cara pemasukan bahan pelumas bentonite*

Seperti sudah dijelaskan di atas, bahwa secara teoritis dalam pelaksanaan pemasangan *jacking-pipe*, pada potongan melintangnya selalu ada rongga (222,25 - 215,00) CM = 7,25CM. Jika pelaksanaan pemboran ini di bawah suatu strukur tertentu sudah barang tentu harus ada perhitungan struktur khusus dan kemungkinan dengan perlakuan khusus untuk menghindari penurunan. Dalam pelaksanaan ini yang dihadapi adalah melalui beberapa jalan raya, yaitu jl. Dr. Saharjo, jl. D.I. Panjaitan, jl. A.R. Rasuna Said, jl. Jend Sudirman, dan jl. Jatinegara, di mana pipa terletak pada ke dalam rata-rata > 3,00 m. Sehingga jika terjadi penurunan, struktur jalan akan retak dan hal ini bisa diperbaiki dengan perbaikan jika perlu dari *sub grade* sampai ke atas pada lapisan *hot mix*. Dari hasil pengalaman di sini jika pipa terletak pada k dalaman rata-rata > 3,00 m, tidak terjadi penurunan dari struktur jalan. Dari masalah tersebut di atas pengisian material pengganti rongga tanah tersebut tetap harus dilaksanakan pada saat segera setelah selesai proses pemasangan pipa untuk satu *single span*, yaitu dengan cara *grout*. Bahan *grout* yang dipakai adalah campuran dari, semen 50 KG, *fly* ash 1300 KG, air 400 - 600 liter. Metode pelaksanaan *grout* sama dengan pelaksanaan pada pelumasan seperti yang dijelaskan di atas; jika pelaksanaan pelumasan pipa ditambah panjangnya terus sesuai penambahan *jacking-pipe*, sedangkan untuk pelaksanaan *grout* dimulai dari *lead pipe* dan berangsur-angsur mundur secara bergantian tiap *jacking-pipe*, kearah belakang sehingga pipa 2" berangsur-angsur diperpendek. Instalasi pipa yang dipakai adalah sama dengan yang dipakai pada waktu pelumasan, tetapi jika instalasi pipa tersebut berubah fungsi menjadi instalasi untuk *grout*, seluruh pipa harus dibersihkan (*flushing*) dengan air, agar menghilangkan semua bekas *bentonite*. Pompa yang dipakai adalah jenis *grout-pump*. Untuk menghindari meluapnya bahan *grout* yang berbentuk cairan pada ujung depan dan ujung belakang dari *jacking-pipe*, maka pada *jacking-pit* dan *receiving-pit* ditutup dengan beton mutu K 125, setebal ± 20 cm (Gambar 10.25).



Gambar 10.25. *Penutupan bahan grout pada ujung depan dan ujung belakang, dengan bahan beton mutu K125 tebal 20 cm.*

Pemasukan bahan *grout* dilakukan mulai dari *lead pipe* pada lubang-lubang yang terletak pada kanan dan kirinya, sampai bahan *grout* terlihat keluar dari lubang yang terletak pada posisi di atas dari pipa. Kemudian lubang yang terletak pada posisi kanan dan kiri ditutup, dan pengisisan diteruskan melalui lubang yang terletak pada posisi di atas pipa, sampai terlihat bahan *grout* keluar pada lubang-lubang yang terletak pada posisi kanan dan kiri dari pipa di belakangnya. Demikian dilakukan terus secara mundur. Sehingga dapat dikatakan instalasi pipa Ø 2" untuk pelumasan sewaktu *jacking-pipe* di dorong oleh *main jack* bertambah panjang dimulai dari *jacking* pit sesuai penambahan *jacking-pipe*, sedangkan untuk *grout* instalasi pipa Ø 2" tersebut bertahap menjadi pendek pipa-demi-pipa sesuai dengan penyelesaian pekerjaan *grout*.

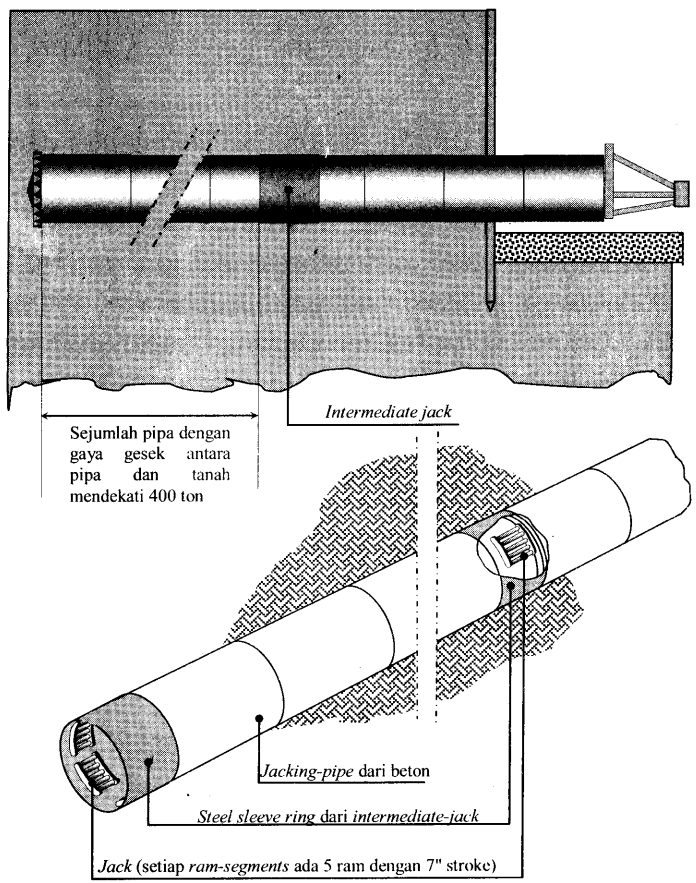
Telah dibahas di atas tentang cara pelumasan sewaktu pipa di*jacked*, dan pengisian material *grout* pada kelonggaran antara *jacking-pipe* dan lubang tanah akibat *tunneling*. Dari hal tersebut setiap *jacking-pipe* terdapat tiga lubang-lubang yang terletak pada posisi di kanan, kiri dan di atas. Lubang-lubang tersebut sewaktu dilaksanakan pekerjaan *grout* telah ditutup sementara hanya untuk

menahan bahan *grout* agar tidak keluar. Lubang-lubang tersebut harus ditutup secara sempurna agar dapat menahan tekanan *hydraulic tes* sebesar 5 bar. Bahan penutup yang dipakai adalah emaco S 88 C *thixsotropic tipe*, produk dari MBT. Lubang yang akan ditutup dibersihkan dengan sikat besi, kemudian semua permukaannya dilabur dengan campuran 2 bagian emaco S 88 C dengan 1 bagian air, sebagai lapisan primer. Kemudian lubang dapat ditutup dengan bahan campuran 25 kg emaco S 88 C dengan 4,2 liter air atau dengan perbandingan 6 kg emaco S 88 C untuk 1 liter air. Pembuatan bahan tersebut dengan *electric mixer* dan pengisian lubang dengan trowel.

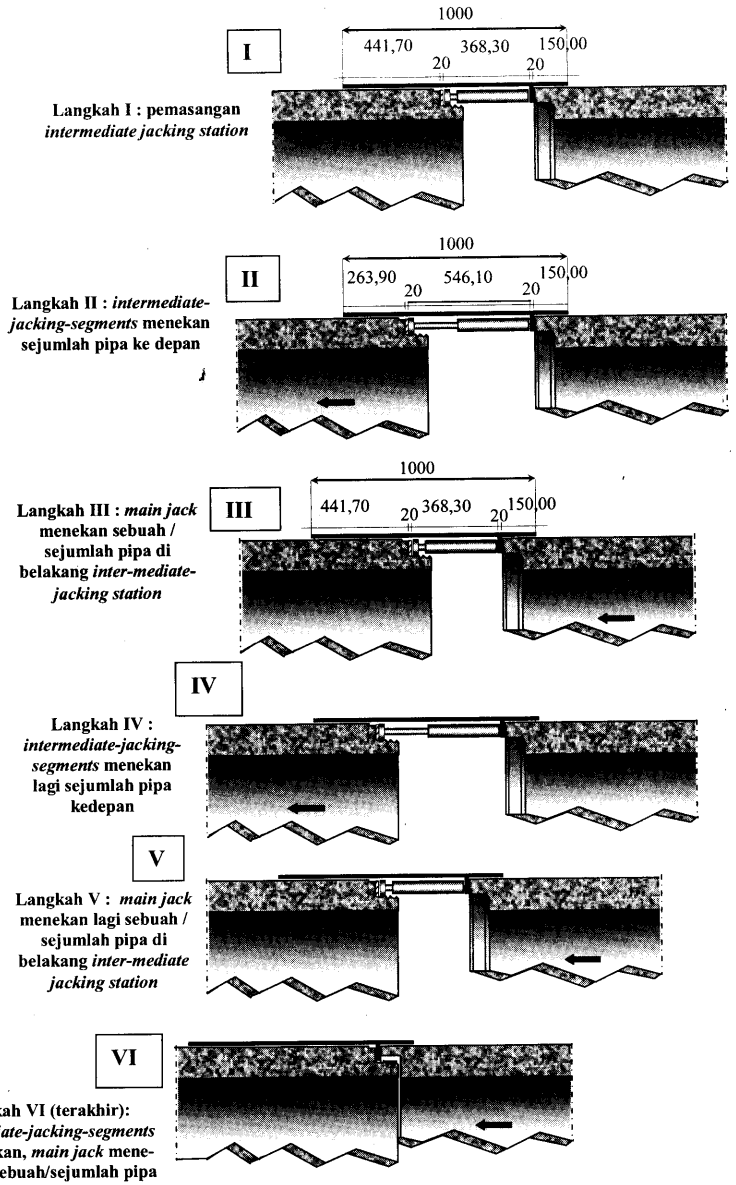
Gaya gesek antara dinding beton dari *jacking-pipe* dan tanah, semakin panjang akan semakin besar, sehingga pada suatu kepanjangan tertentu secara teoritis akan menyamai gaya desak dari *main jack* yang mendorong *yoke*, yaitu sebesar 400 ton, yang ditunjukkan oleh alat ukur *gauge*. Pada saat tersebut secara teoritis *main jack* sudah tidak mampu lagi untuk mendorong tambahan *jacking-pipe*, padahal pekerjaan belum selesai dalam satu span. Untuk itu Akkerman membuat *design intermediate-jack* yang dipasang sebelum *main-jack* mengalami aksi mendorong dengan gaya kurang dari 400 ton atau jauh sebelumnya. Dengan demikian sewaktu *main jack* menjelang mendorong dengan gaya sebelum 400 ton, tugas mendorong diserahkan kepada *intermediate-jack*. Kemampuan mendorong dari *intermediate-jack* ini adalah juga 400 ton. Dengan demikian sejumlah *jacking-pipe* didepan yang mempunyai gaya gesek antara tanah dan pipa sebesar ≤ 400 ton akan didorong oleh *intermediate-jack*, kemudian tangan pendorong *intermediate-jack* memendek kembali sehingga ada ruang lagi bagi *main-jack* untuk mendorong kembali *jacking-pipe* baru di belakang *intermediate-jack*. Demikian seterusnya, jika sejumlah *jacking-pipe* yang di belakang *intermediate-jack* pertama juga sudah mempunyai gaya gesek ≤ 400 ton, maka diberi *intermediate-jack* yang kedua. Peralatan yang diperlukan di antaranya adalah,

- *adaptor/connecting device*
- *steel sleeve ring* untuk *intermediate jack*
- *hoses*
- *pump unit*

Pelaksanaan jack dilaksanakan setelah *steel sleeve ring* dan semua unit *intermediate-jack* telah terpasang di antara *jacking-pipe* yang di depan dan yang di belakang (Gambar 10.26).



Gambar 10.26. *Pemasangan intermediate-jack, steel-sleeve-ring, dan ram*



Gambar 10.27. *Sketsa cara kerja intermediate jacking*

Setiap *intermediate-jacking-stations* mempunyai beberapa *intermediate-jacking-segments*, tergantung diameternya. Setiap *intermediate-jacking-segments* mempunyai 5 rams dengan 7" *stroke* (7" panjang langkah). Jadi setiap segmen ada 5 jack dengan panjang langkah 7". *Steel-sleeve-ring* dipasang untuk menutupi sambungan pipa, untuk menghindari masuknya tanah. Dan komponen *steel-sleeve-ring* ini tetap tinggal tertanam di dalam tanah (gambar 10.26 dan 10.27).

Cara kerja *intermediate-jacking* dapat digambarkan sebagai berikut.

Langkah I : pemasangan *intermediate jacking station*

Langkah II : *intermediate-jacking-segments* menekan sejumlah pipa kedepan

Langkah III : *main jack* menekan sebuah/sejumlah pipa di belakang *inter-mediate-jacking station*

Langkah IV : *intermediate-jacking-segments* menekan lagi sejumlah pipa kedepan

Langkah V : *main jack* menekan lagi sebuah/sejumlah pipa di belakang *intermediate jacking station*

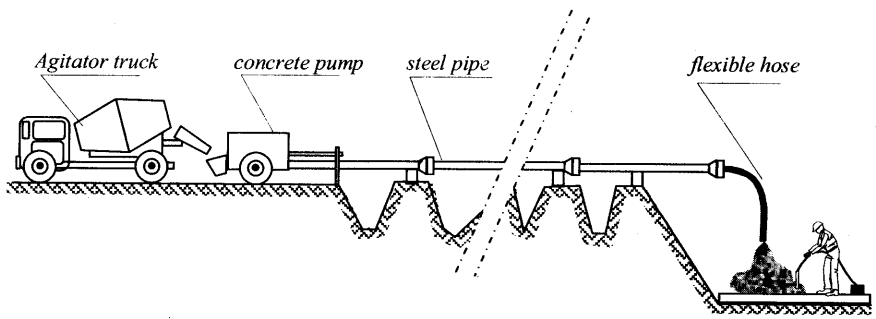
Langkah VI : *Intermediate-jacking-segments* dikeluarkan, *main jack* menekan lagi sebuah/sejumlah pipa di belakang *intermediate-jacking-station*, *steel-sleeve-ring* tetap tinggal/tidak dikeluarkan

-oo0oo-

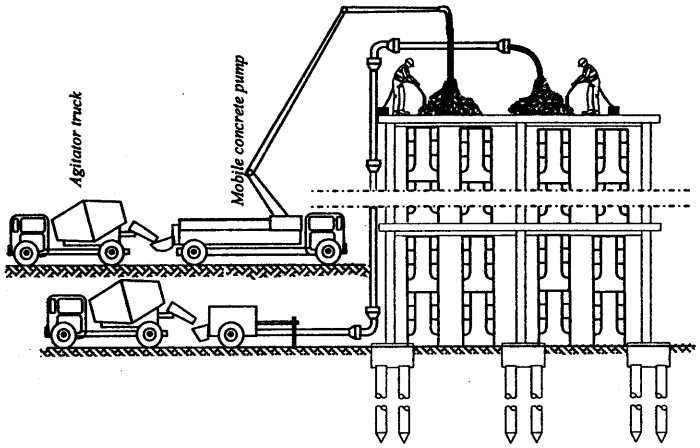
11

KASUS PEMBANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT BANYAK

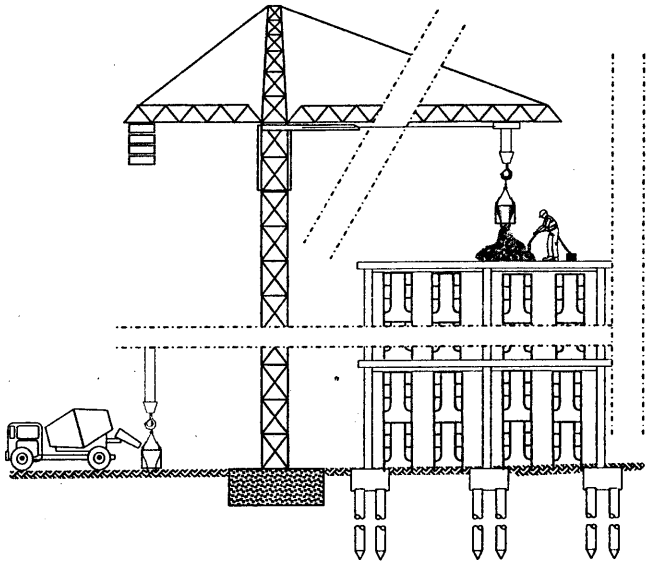
Pekerjaan struktur gedung dimaksud di sini adalah gedung bertingkat banyak. Untuk gedung atau rumah sederhana tidak banyak kesulitan. Untuk pekerjaan pengecoran balok, plat lantai dan kolom dapat dilaksanakan dengan beberapa kemungkinan, tergantung kondisi setempat, di antaranya dapat menggunakan *concrete pump*, *tower* (lift), atau *crane* (gambar 11.1, 11.2, 11.3, lihat juga gambar 6.32).



Gambar 11.1. *Metode pengecoran beton dengan menggunakan concrete-pump, karena harus melalui medan yang sulit untuk dijangkau dengan peralatan*



Gambar 11.2. *Metode pengecoran beton dengan menggunakan concrete-pump untuk mengatasi tingginya lokasi pekerjaan; jenis lain dengan menggunakan mobile-concrete pump*



Gambar 11.3. *Metode pengecoran beton dengan menggunakan crane, untuk mengatasi tinggi bangunan yang sudah melewati kemampuan jangkauan concrete-pump.*

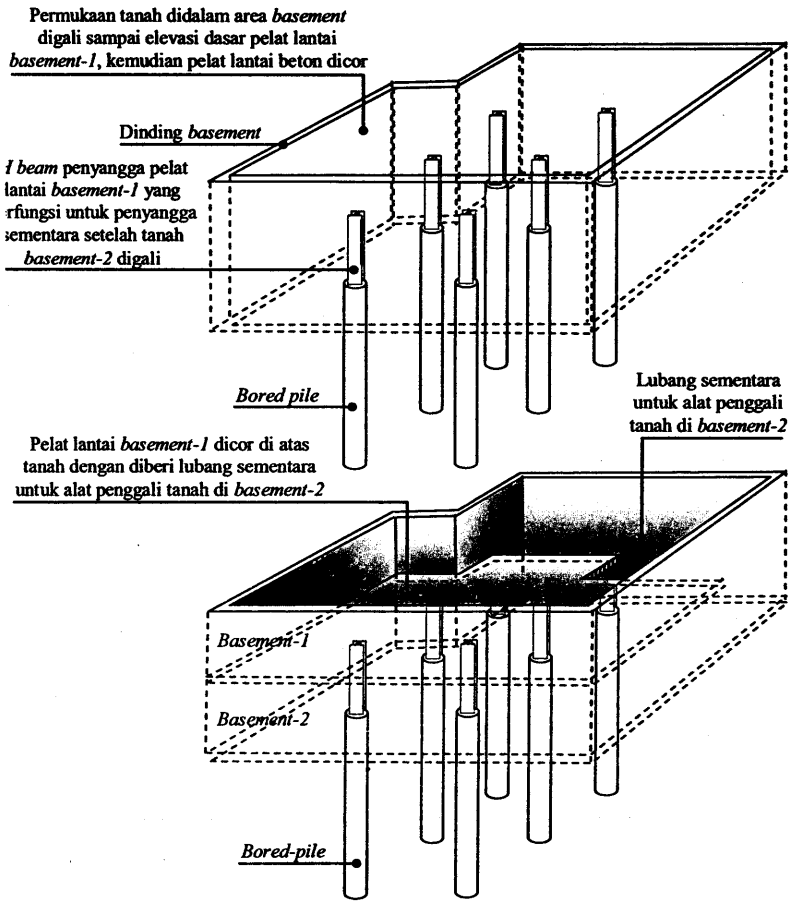
Untuk pengecoran di atas 12,00 m maka lebih baik dengan menggunakan *lift/tower* atau *crane* tergantung dari kondisi di lapangan. Untuk area konstruksi yang sangat sempit dan bangunannya kurang dari 8 lantai lebih baik menggunakan *lift/tower*, selain juga pengadaan dan operasionalnya lebih murah. Tetapi untuk bangunan yang sangat tinggi perlu dipertimbangkan dengan menggunakan *crane*.

11.1 Kasus Pembangunan Gedung dengan Metode *Top-down*

Secara umum untuk melaksanakan kegiatan pembangunan perlu dengan metode kerja yang efisien dan efektif. Karena itu dalam bersaing kontraktor selalu menggunakan metode kerja yang membuat hasil akhir yang murah, tepat mutu dan tepat waktu. Pekerjaan pembangunan gedung bertingkat tinggi, salah satu metode sekarang dikenal dengan menggunakan metode *top-down*, dalam arti sebagian struktur *basement* diselesaikan sedemikian, sehingga ada bagian *basement* yang cukup kuat untuk menahan dan menanggulangi proses pelaksanaan beberapa lantai struktur yang di atas, dan sementara pekerjaan penyelesaian *basement* dikerjakan, juga dapat dilaksanakan secara simultan dengan pekerjaan struktur bagian atas. Secara garis besar, uraian urutan pekerjaannya dilaksanakan seperti gambar 11.4.

Dinding *basement* dan pondasi *bored-pile* dapat dilaksanakan secara simultan. Dinding *basement* juga berfungsi sebagai *diaphragm-wall*, dinding penahan tanah, penyangga gaya horisontal yang diterima plat lantai, dan termasuk juga sebagai *dewatering system*. Pada bagian *basement-2* perpanjangan dari salah satu *bored-pile* di mana rencana kolom dipasang pada *basement-2*, dipasang *steel-H-beam* atau dapat juga dengan menggunakan pipa baja (disebut *king-post*), untuk penyangga sementara plat lantai *basement-1* nantinya setelah tanah pada *basement-2* digali. Penggalian tanah dimulai

dari *basement-1*, sampai mencapai elevasi plat lantai *basement-1*. Penggalian tanah ini dibentuk sesuai dengan rencana plat lantai *basement-1* termasuk rencana balok-baloknya, dan dipadatkan secukupnya, kemudian dilapisi dengan papan-papan cetakan.



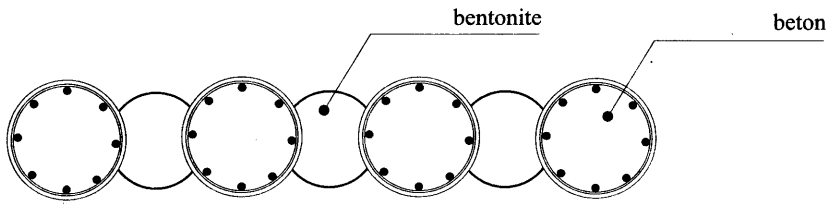
Gambar 11.4. ***Sketsa contoh bentuk basement dengan metode kerja pembuatan basement dengan cara pelaksanaan sistem top-down. Pada latar belakang kanan, plat lantai basement-1 sengaja diberi lubang untuk memberi kesempatan excavator dan loader dapat menggali tanah dan masuk ke dalam basement-2***

Ada keuntungannya karena pembetonan plat lantai *basement-1* tidak perlu menggunakan *scaffolding*, karena masih disangga oleh tanah. Pengecoran plat lantai ini perlu ada bagian yang ditunda pengecorannya, sedemikian sehingga cukup untuk memberi jalan peralatan/mesin penggali tanah masuk ke dalam *basement-2*. Peralatan/mesin yang dipakai seyogyanya menggunakan track loader, dengan cara membuat *ramp* sampai masuk ke dalam *basement-2*. Penggalian tanah pada *basement-2* dilaksanakan sampai elevasi plat lantai *basement-2*, dan kemudian plat lantai *basement-2* dicor beton. Kolom-kolom pada *basement-2*, termasuk kolom *king-post* juga dicor, sehingga sepenuhnya dapat menahan beban sesuai rencana. Kolom *king-post* ikut tertanam dalam beton, sehingga merupakan kolom komposit. Sementara ini pelaksanaan untuk struktur mulai dari lantai-1 ke atas dapat mulai dilaksanakan simultan dengan penyelesaian *basement-1* dan *basement-2*.

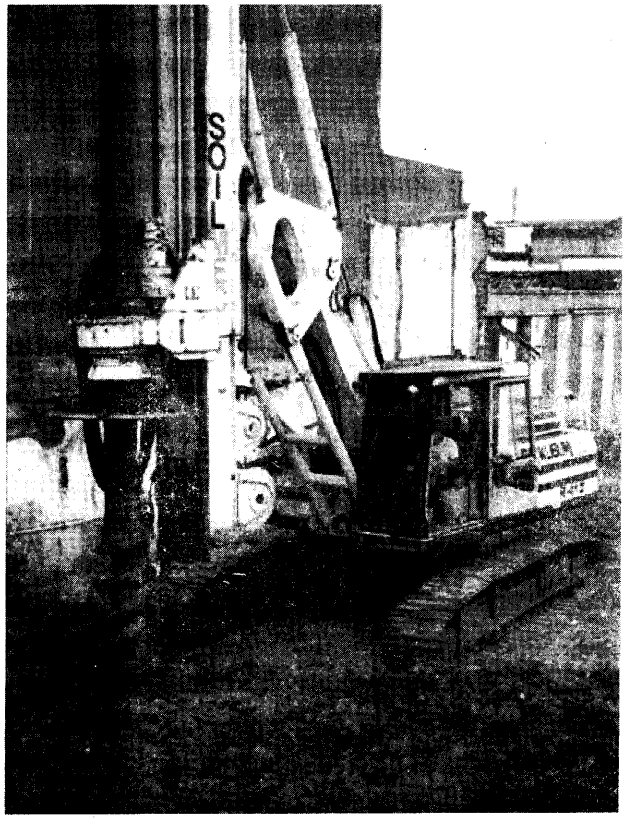
11.2 Pelaksanaan Pembuatan Dinding Penahan Tanah Pada *Basement*

Pembuatan dinding *basement* ini pada dasarnya adalah juga merupakan dinding penahan tanah, yang sekaligus dapat berfungsi untuk *dewatering* dan penahan gaya horisontal untuk plat lantai *basement*. Pembuatan dinding *basement* dapat dilaksanakan dengan beberapa cara, di antaranya dengan membuat *bored-pile* dari beton yang diselingi dengan *bored-pile* dari *bentonite*, yang biasa disebut *contiguous-pile* atau ada yang menyebut sebagai *soldier-pile*; atau dapat juga dengan cara seperti pelaksanaan *diaphragm-wall* seperti pada gambar 4.43, 4.44 dan 4.45.

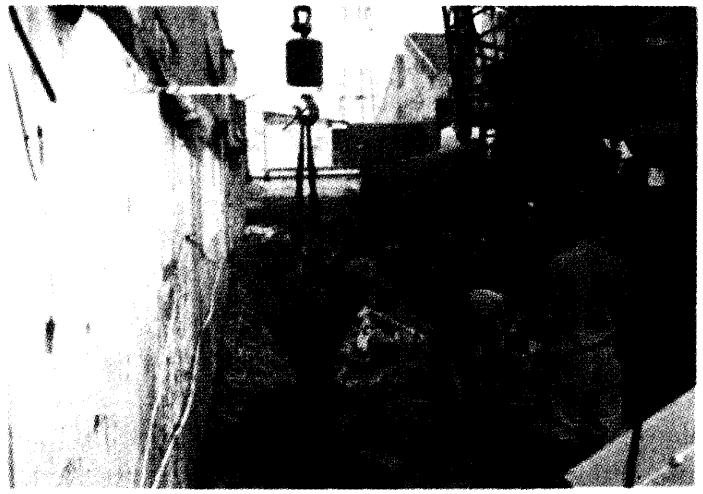
Pembuatan dinding *basement* dengan *bored-pile* beton dan *bentonite*, dengan cara selang-seling. *Bored-pile* diisi dengan *bentonite*, sebelum *bentonite*nya terlalu keras, di antaranya harus segera dibor untuk diselingi dengan *bored-pile* yang diisi dengan beton (gambar 11.5).



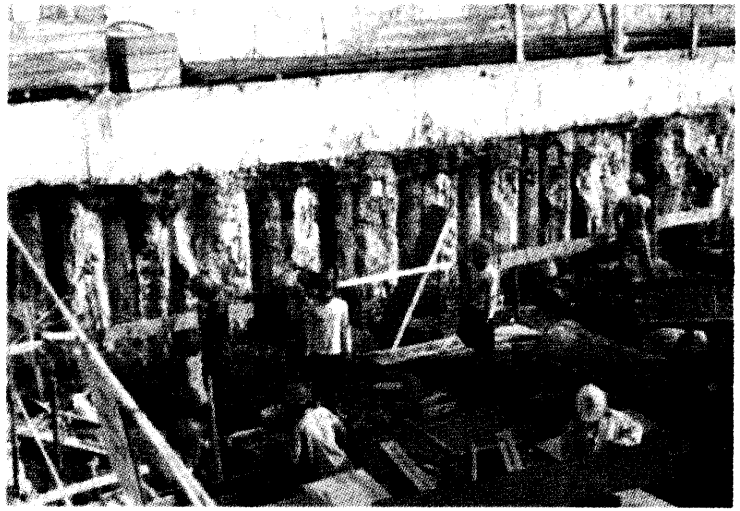
Gambar 11.5. *Dinding penahan tanah*



Gambar 11.6. *Pengeboran untuk dinding penahan tanah, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)*



Gambar 11.7. *Pengecoran bored-pile/dinding basement, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)*

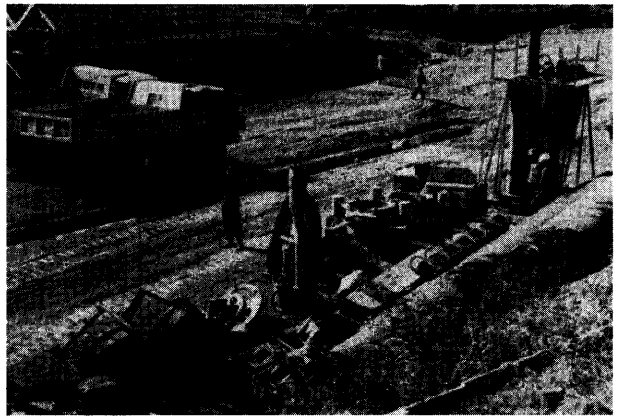


Gambar 11.8. *Dinding penahan tanah tampak saat setelah penggalian tanah basement-1, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)*

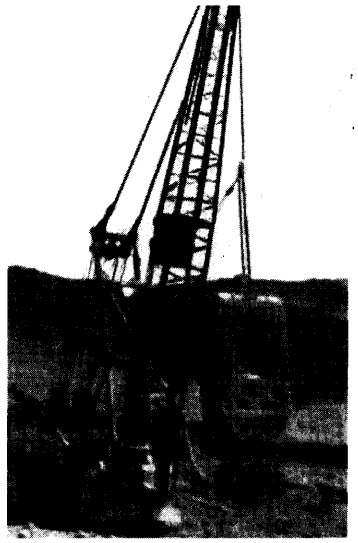
Untuk menghindari longsornya tanah yang terlalu banyak sewaktu pengeboran, cara pengeboran dari *bored-pile* yang sejenis, dibuat dengan cara loncat selang satu titik dari *bored-pile* yang sejenis pula. Kedalaman dan diameter dari *bored-pile* tergantung dari perhitungan kekuatan, berdasarkan ketinggian *basement*, jenis tanah, dan beban perkiraan gaya horisontal yang ada dari bangunan disebelahnya.

Cara lain untuk pembuatan dinding penahan tanah pada *basement*, adalah seperti dalam pembuatan *diaphragm-wall* (lihat gambar 4.43 dan 4.44) dengan metode kerja pelaksanaannya seperti dalam gambar 4.45, yaitu dengan penggalian dan pengecoran betonnya loncat selang selebar *clam-shell*. Metode kerja pengecoran betonnya dilaksanakan seperti dalam gambar 6.37, di mana untuk menjaga longsornya tanah, lubang galiannya diisi *bentonite* cair dengan permukaan cairan *bentonite* tersebut harus lebih tinggi dari permukaan air tanah yang ada. Cairan *bentonite* akan membentuk lapisan di permukaan tanah galian, dan juga cairan *bentonite* akan selalu menekan ke permukaan tanah galian, karena posisi permukaan cairan *bentonite* dibuat selalu lebih tinggi dari permukaan air tanah yang ada. Beton yang dipakai dengan *slump* yang tinggi atau sangat encer, karena di dalam tanah tidak mungkin lagi untuk memadatkan. Sehingga perlu menggunakan beton dengan kandungan semen yang lebih banyak. Tetapi sekarang sudah ada *admixture* yang berfungsi sebagai *palstikizer*, sehingga beton mempunyai *workability* yang sangat tinggi, dengan tidak menurunkan kekuatan betonnya. Dengan cara ini kemungkinan rembesan air tanah sangat kecil. Tetapi ada juga yang dipasang *water-stop*, yang menghubungkan antara tiang beton yang satu dengan yang lainnya yang bersebelahan. Ada pengkait khusus dari *water-stop* tersebut, yang diletakan pada kanan dan kiri tiang beton. Pengkait tersebut sekaligus membentuk lidah dan alur dari tiang-tiang beton tersebut. Pembuatan dengan cara ini diharapkan *finishing* untuk permukaan dindingnya lebih mudah. Bandingkan dengan cara seperti di

atas (gambar 11.8), di mana permukaan dindingnya masih perlu dibuat, karena permukaannya masih berbentuk barisan tiang-tiang *bored-pile* (*soldier-pile*).



Gambar 11.9. *Pelaksanaan pembuatan diaphragm-wall yang dilaksanakan oleh PT Nindya Karya di Proyek Dam Sampean Baru.*



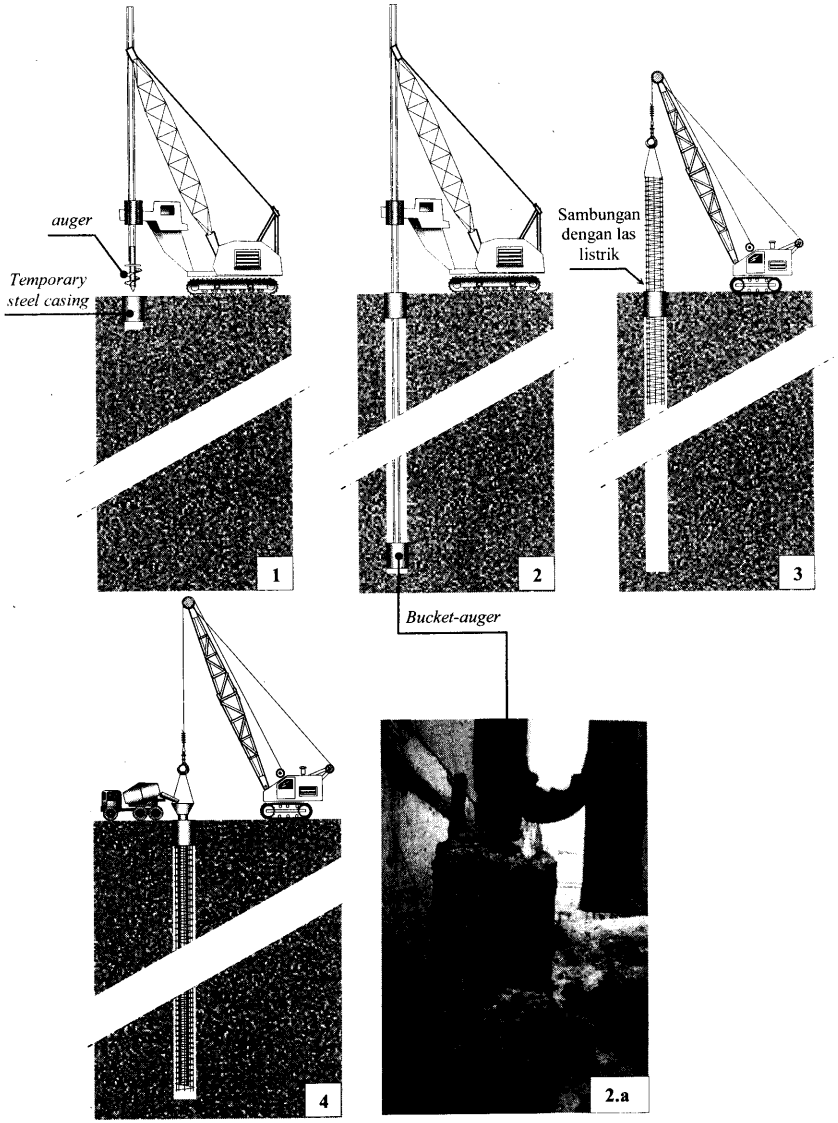
Gambar 11.10. *Diaphragm-wall sudah dicor di dalam tanah, dan tampak hasil penggalian lebih rapih dengan menggunakan clam-shell.*

11.3 Pelaksanaan Pembuatan *Bored-pile* Untuk Pondasi dan Tiang Sementara Penyangga Lantai *Basement-1*

Seperti halnya dengan pelaksanaan pembuatan soldier-pile untuk dinding penahan tanah, untuk pelaksanaan pembuatan pondasi juga menggunakan *bored-pile* dari beton bertulang. Diameter *bored-pile* untuk pondasi berukuran 800 MM sampai 1000 MM, tergantung perhitungan perencanaannya, dengan menggunakan mesin *auger* (gambar 11.11). Pembuatan *bored-pile* dilaksanakan pada tanah asli, setelah *land-clearing*.

Gambar 11.11. *Mesin bor/auger, pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)*

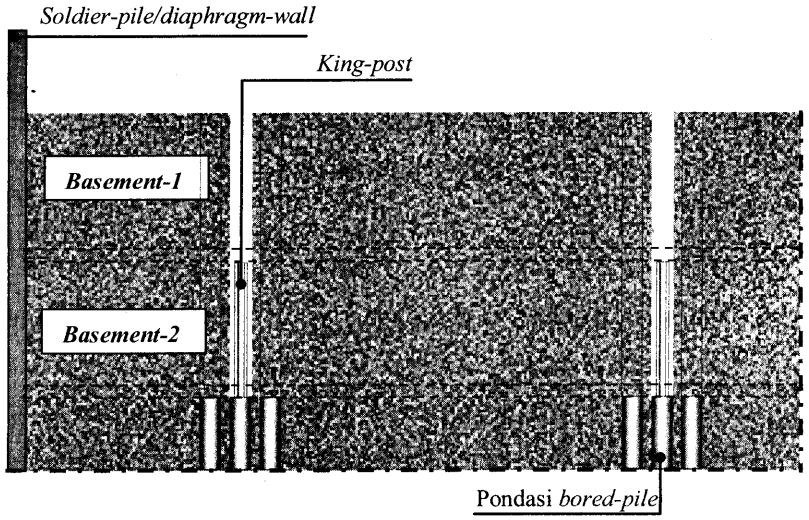
Urutan cara kerja pelaksanaan pembuatan *bored-pile* digambarkan pada gambar 11.12. Penggalian/pengeborannya dengan *bucket-auger*, dan setelah selesai pengeboran, dipasang rakitan besi. Tulangan utama dari rakitan besi ini 12 M, sehingga perlu beberapa rakitan yang disambung dengan las listrik agar kuat. Beberapa dari *bored-pile* ini, disambung dengan tiang untuk penyangga sementara (biasa disebut *king-post)*, sampai ujung atas *king-post* pada elevasi sesuai dengan lantai *basement-1* (gambar 11.13, 11.14). Bahan *king-post* dari baja H-beam atau pipa besi, sedangkan dimensinya tergantung dari perhitungan kekuatannya. Karena *king-post* harus menyangga sementara lantai *basement-1*, nantinya setelah tanah pada *basement*-2 digali, maka perlu memperhitungkan beban-beban yang terdapat pada lantai *basement-1*, di antaranya adalah armada alat-alat berat untuk galian tanah, bahan bangunan yang mungkin harus sementara diletakan di atas lantai *basement-1*, dan beban-beban *scaffolding* untuk melanjutkan lantai di atasnya. Selain itu juga perlu memperhitungkan faktor tekuk dari batang besi *king-post* tersebut. Untuk menambah daya dukung kontak antara beton *bored-pile* dengan *king-post*, perlu dipasang *steel-studs* dengan sambungan las listrik yang berfungsi sebagai *shear connectors* (gambar 11.15). Pemasangan *king-post* ke dalam beton *bored-pile* dilakukan sewaktu beton masih cair (sebelum *setting-time*).



1. Pengeboran dengan alat bor *auger* dengan kedalaman secukupnya untuk kemudian dipasang *temporary-steel-casing* pada lubang tersebut.
2. Pengeboran untuk *pondasi bored-pile* dengan menggunakan alat jenis *bucket-auger* (2.a).
3. Pemasangan rakitan besi beton untuk *bored-pile. Bored-pile* yang sangat dalam, rakitan besi beton disambung dengan las listrik.
4. Pengecoran *bored-pile* dengan menggunakan *pipa-tremie* (lihat juga gambar 6.37)

Gambar 11.12. *Urutan cara kerja pelaksanaan pembuatan bored-pile*

Gambar 11.13. *Pelaksanaan pengeboran tanah pembuatan bored-pile*



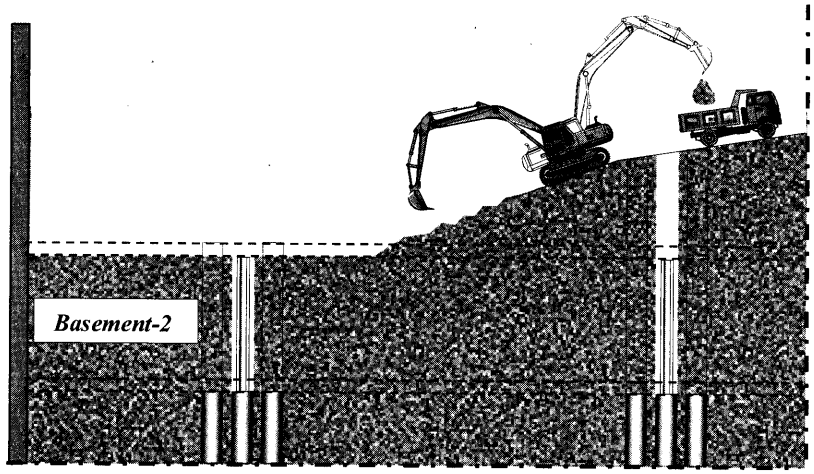
Gambar 11.14. *Sketsa king-post yang sudah tertanam di dalam beton bored-pile*

Gambar 11.15. *King-post dengan studs yang terpasang kuat dengan las listrik, siap dimasukan ke dalam beton bored-pile yang masih cair; pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)*

11.4 Pelaksanaan Penggalian Tanah sampai Elevasi Dasar Lantai *Basement-1* dan Pelaksanaan Pengecoran Beton plat Lantai *Basement-1*

Pelaksanaan penggalian tanah pada proyek gedung semacam ini besar kemungkinan mengalami kesulitan, karena tempat yang sangat terbatas. Banyak kemungkinan bisa dilaksanakan dengan beberapa cara, yaitu,

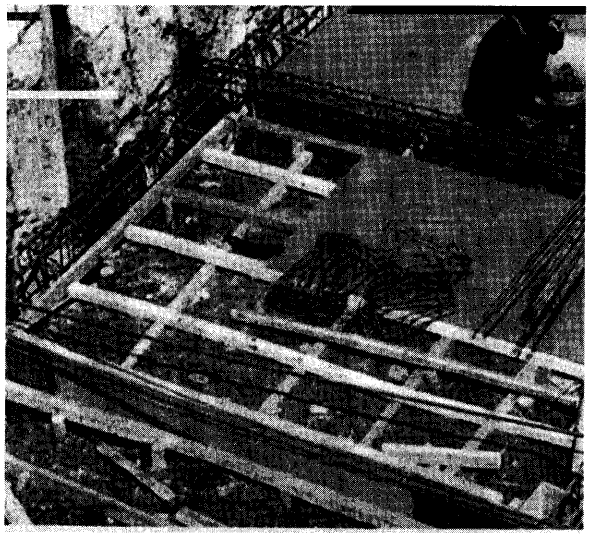
- Menggunakan *excavator, track loader* (jika dikhawatirkan tanah dasar licin karena banyak lumpur, dan tidak rata), atau dengan *wheel loader* (lebih cepat dan jika tanah kering dan rata) dan sejumlah *dump-truck* (gambar 11.16).



Gambar 11.16. *Sketsa penggalian tanah, sampai elevasi yang secukupnya, agar dapat dipasang cetakan beton untuk balok dan plat lantai basement -1 (lihat juga gambar 11.20)*

- Jika *crane* sudah terpasang, walaupun masih rendah, dapat untuk membantu memindahkan tanah dengan *bucket* yang besar, kemudian dikombinasikan dengan *dump-truck*.
- Kemungkinan lain, seperti di atas, dengan track-*crane*/*mobile-crane*, karena track-*crane*/*mobile-crane* juga nantinya harus diadakan untuk alat bantu pelaksanaan pengecoran *bored-pile* nantinya.

Penggalian dilaksanakan sampai elevasi secukupnya sedemikian sehingga dapat untuk melaksanakan pembuatan cetakan beton untuk balok dan plat lantai *basement-1* (gambar 11.17).

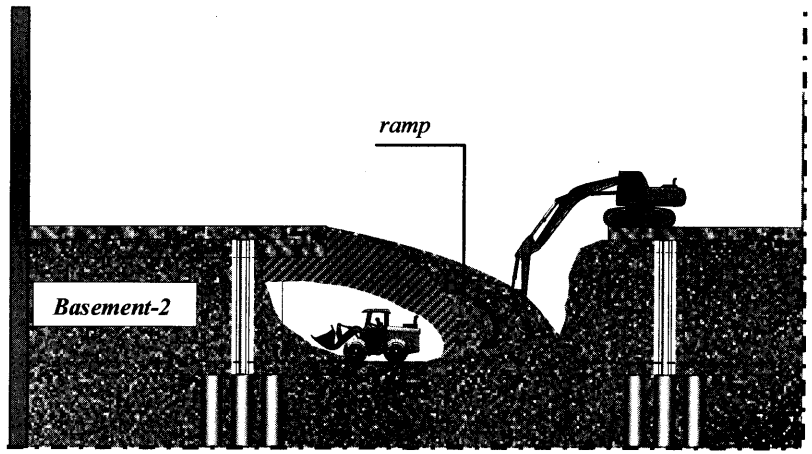


Gambar 11.17. *Pelaksanaan pembuatan cetakan beton untuk balok dan plat lantai basement-1, di atas tanah yang telah selesai digali; pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)*

Pelaksanaan pembuatan balok dan plat lantai *basement-1* ini, perlu direncanakan ada lubang/*void* dari plat lantai tersebut, untuk jalan masuknya alat-alat berat penggalian tanah. Perencanaan perhitungan kekuatan plat lantai dengan memasukkan beban-beban berupa rencana alat-alat berat yang akan dipakai dan beban-beban bahan-bahan bangunan yang kemungkinan perlu ditimbun sementara di atas plat lantai tersebut.

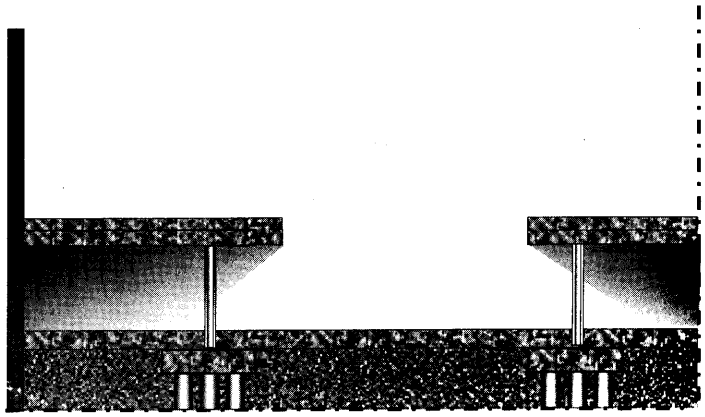
11.5 Pelaksanaan Penggalian Tanah sampai Elevasi Dasar Lantai *Basement-2* dan Pelaksanaan Pengecoran Beton plat Lantai *Basement-1*

Metode kerja penggalian tanah, dengan cara membuat *ramp*, yaitu berupa jalan turun dari tanah melalui *void*, untuk masuknya alat-alat berat penggalian tanah. Dalam pelaksanaan penggalian tanah *basement-2* ini perlu dipertimbangkan pengadaan *dewatering-system*, yaitu dengan membuat sumur, dan mengeluarkan air tanah dengan menggunakan *submersible-pump*. Dinding *basement* diharapkan sudah dapat menahan sebagian kecepatan aliran air tanah yang masuk ke dalam *basement*. Peralatan untuk penggalian tanah di dalam *basement-2* ini cukup menggunakan *track loader* ataupun *excavator* dengan kapasitas kecil saja, mengingat lokasinya yang sempit. Tetapi juga perlu menggunakan *long-arm-excavator*, yang duduk dipinggir *void* dari lantai *basement-1*, yang berfungsi untuk memindahkan tanah dari dalam *basement-2* (gambar 11.8). Peralatan-peralatan yang beroperasi di dalam *basement-2*, mengumpulkan tanah atau mendekatkan tanah di lokasi yang dapat dijangkau oleh *bucket* dari *long-arm-excavator*. Terakhir *ramp* akan digali oleh *long-arm-excavator*, sedangkan pembersihan sisa-sisa tanah dilakukan oleh tenaga manusia.



Gambar 11.18. *Sketsa penggalian tanah basement-2, setelah pekerjaan balok dan plat lantai basement-1 selesai dicor dan sudah mampu menerima beban alat-alat berat dan beban-beban lainnya. Perlu dibuat void pada lantai basement-1 dan juga ramp untuk jalan masuknya loader*

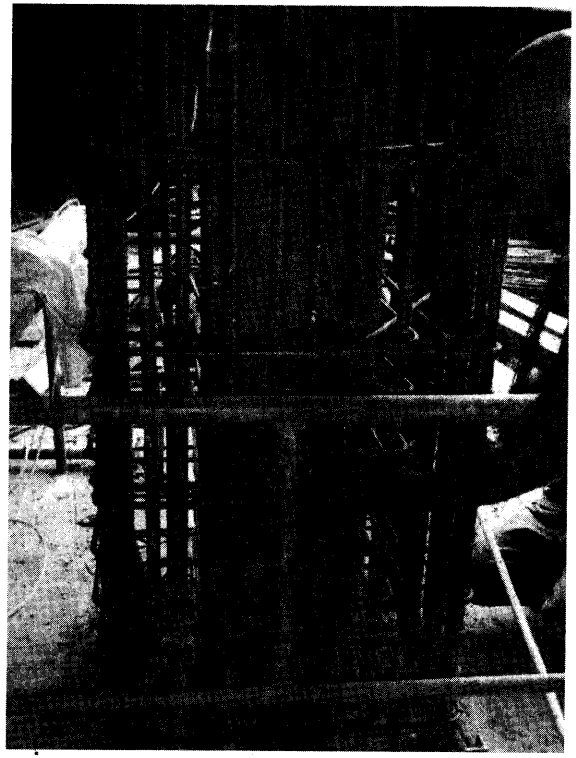
Gambar 11.19. *Penggalian tanah basement-2. Tampak kolom king-post (besi baja H-beam) masih menyangga plat lantai basement-1; pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)*



Gambar 11.20. *Sketsa kondisi basement-2 setelah selesai penggalian tanah, dan selesai pelaksanaan pembuatan lantai basement-2. Tampak void dari lantai basement-1 untuk jalan masuknya alat berat, belum dicor. Kolom king-post belum dicor beton*

11.5 Pelaksanaan Pembuatan Kolom-Kolom Dan plat Lantai *Basement-2*

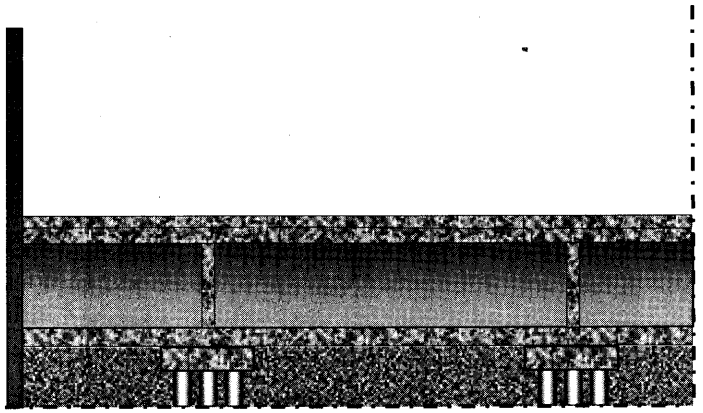
Pembuatan kolom-kolom sesuai rencana di mana terdapat juga beberapa kolom sementara *king-post*, kolom sementara *king-post* tersebut akan ikut dicor beton dan menjadi bagian dari kolom tersebut (kolom komposit) (gambar 11.21). Sedangkan kolom-kolom lainnya yang tidak di tempati *king-post*, dilaksanakan seperti biasa. Sementara itu sudah dimulai pekerjaan pembuatan plat lantai *basement-2*.



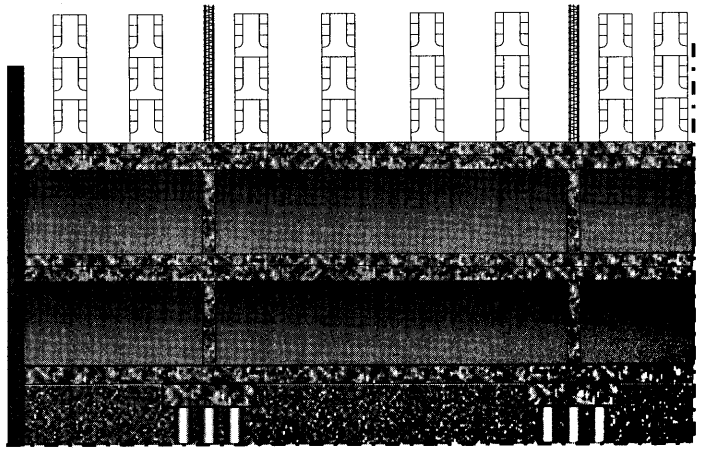
Gambar 11.21. *Perakitan besi beton untuk kolom, di mana king-post ikut dicor beton dan menjadi bagian dari kolom tersebut (kolom komposit); pada proyek yang dilaksanakan oleh PT Wijaya Karya. (Penampilan foto atas seijin PT Wijaya Karya)*

Dan jika kemampuan beton kolom *basement-2* dan plat lantai *basement-1* sudah cukup, bersamaan dengan itu dapat dimulai pekerjaan kolom *basement-1* dan plat lantai dasar.

Demikian seterusnya sementara penyelesaian *basement-1* dan *basement-2*, kegiatan pekerjaan struktur di atasnya dikerjakan.



Gambar 11.22. *King-post telah dicor beton, menjadi bentuk kolom komposit untuk bangunan sesuai rencana (lihat juga gambar 11.21).*



Gambar 11.23. *Kegiatan pekerjaan struktur di atas sudah dapat dimulai, sementara masih penyelesaian basement-1 dan basement-2*

Beberapa keuntungan dengan metode kerja *top-down*, di antaranya adalah,

- Dengan dibuatnya *diaphragm-wall* atau *soldier-pile* ataupun sistem dinding cara lain, akan merupakan bagian dari *dewatering*, karena sudah dapat mencegah sebagian dari kecepatan aliran air tanah masuk ke dalam *basement*. Sehingga kapasitas sump-pump dapat berkurang.
- Dengan dibuatnya struktur lantai *basement* dan kombinasi dengan adanya *diaphragm-wall/soldier-pile*, akan merupakan penahan terhadap tekanan tanah aktif yang bekerja kearah dalam *basement*. Sehingga dalam kegiatan pembangunan ini sudah tidak perlu adanya sistem penahan tanah sementara, berarti juga akan merupakan penghematan biaya.
- Dengan dibuatnya cetakan beton untuk balok dan plat lantai *basement-1* di atas tanah galian, akan merupakan penghematan biaya, karena tidak perlu lagi *scaffolding* untuk penyangganya.
- Dapat mempersingkat waktu, karena pekerjaan struktur di atas dapat dikerjakan secara simultan dengan pekerjaan penyelesaian *basement-1* dan *basement-2*.
- Dapat direncanakan dengan perhitungan kekuatan struktur untuk *king-post*, sehingga jika dapat untuk menahan beban struktur di atasnya (misalnya beban struktur sampai lantai-3 atau lantai-4), maka pelaksanaan struktur atas ini dapat langsung dikerjakan secara simultan dengan pelaksanaan *basement*, setelah struktur balok dan plat lantai *basement-1* selesai dikerjakan. Dengan demikian akan lebih mempercepat durasi pelaksanaan proyek tersebut.
- Jika luas lantai memungkinkan untuk dibagi beberapa blok (karena sangat luas), pekerjaan pembuatan balok dan plat lantai *basement* dapat dikerjakan secara simultan dengan pekerjaan penggalian tanahnya.

-oo0oo-

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum, *Tata Cara Penghitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung* (SK - SNI - T - 15 - 1991 - 03), Yayasan LPMB Bandung

Badan Standarisasi Nasional (BSN), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung* (SNI 03 - 1726 - 2002).

Badan Standarisasi Nasional (BSN), *Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia.*

American Institute Of Timber Construction, *Timber Construction Manual*, John Wiley & Sons.

R. L. Peurifoy, *Construction Planning, Equipment, And Methods*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd

Istimawan Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.

Ir. Gideon H. Kusuma M. Eng, DR. Ir. TakimAndriono, *Desain Struktur Rangka Beton Bertulang Di Daerah Rawan Gempa*, Penerbit Erlangga

Ir. Winarni Hadipratomo, *Struktur Beton Prategang, Teori Dan Prinsip Desain*, Perbit Nova.

Clarkson H. Oglesby & R. Gary Hicks, *Teknik Jalan Raya*, Jilid 1, Alih Bahasa oleh Ir. Purwo Setianto, Penerbit Erlangga

Clarkson H. Oglesby & R. Gary Hicks, *Teknik Jalan Raya*, Jilid 2, Alih Bahasa oleh Ir. Purwo Setianto, Penerbit Erlangga.

Silvia Sukirman, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova.

Ir. D.U. Sudarsono, *Rencana Campuran (Mix design)*, bagian A, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum.

Ir. D.U. Sudarsono, Prinsip-Prinsip Beton Aspal dan Pengaspalan Dengan Butas, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum.

Ir. Heinz Frick, *Pengaturan Organisasi Bangunan*, Penerbit Kanisius.

J. Kwantes, J. Klaver en P. Winters, *Ilmu Bangunan*, bagian 1, Alih Bahasa oleh E. Diraatmadja, Penerbit Erlangga.

A. Pijl, C de Weert, *Ilmu Bangunan*, bagian 2, Alih Bahasa oleh E. Diraatmadja, Penerbit Erlangga.

ing J. C. M. M. Cuypers, ing J. P. Jansen van Rosendaal, ing J. Klaver, *Ilmu Bangunan*, bagian 3, Alih Bahasa oleh E. Diraatmadja, Penerbit Erlangga.

Donald S. Barrie & Boyd C. Paulson, JR, *Manajemen Konstruksi*, Alih Bahasa oleh Ir. Sudinarto, Penerbit Erlangga

J.F. Dumanauw, *Mengenal Kayu*, Penerbit Kanisius.

Pendidikan Industri Kayu Atas (PIKA), *Mengenal Sifat-sifat Kayu Indonesia Dan Penggunaannya*, Penerbit Kanisius.

L.J. Murdock D.Sc. (Eng), Ph.D., F.I.C.E and K.M. Brook B.Sc. F.I.C.E., F.I.H.E., *Bahan Dan Praktek Beton*, alih bahasa oleh Ir. Stephanus Hindarko, Penerbit Erlangga.

R.H. Elvery B.Sc.(Eng), A.M.I.C.E., *Concrete Practice, Volume one*, F.J. Parsons Ltd.

R.H. Elvery B.Sc.(Eng), A.M.I.C.E., *Concrete Practice, Volume Two*, F.J. Parsons Ltd.

Robert D. Krebs and Richard D. Walker, *High Way Materials*, Mc-Graw-Hill Book Company.

Blasting Practice, Imperial Chemical Industries Limited.

T. Lyn, *Design Of Prestressed concrete Structure*, John Wiley & Sons, Inc

-oo0oo-

FAKTOR KONVERSI SATUAN

Kalikan	Dengan	Untuk mendapatkan
CM	$3{,}28083 \times 10^{-2}$	**Feet**
CM	0,3937	**Inches**
CM^3	$3{,}53145 \times 10^{-5}$	**Cubic feet**
CM^3	$6{,}102 \times 10^{-2}$	**Cubic inches**
CM^2	0,1550	**Square inches**
Cubic feet	$2{,}8317 \times 10^{4}$	**CM^3**
Cubic feet	$2{,}8317 \times 10^{-2}$	**M^3**
Cubic feet	28,3170	**Liter**
Cubic inches	16,38716	**CM^3**
Cubic meters	35,3145	**Cubic feet**
Cubic meters	1,30794	**Cubic yards**
Cubic yards	0,764559	**M^3**
Feet	30,4801	**CM**
Feet	0,304801	**M**
Feet	304,801	**MM**
Foot pounds	0,13826	**KG.M**
Inches	2,54001	**CM**
Inches	$2{,}54001 \times 10^{-2}$	**M**
Inches	25,4001	**MM**
KG	2,20462	**Pounds**

Kalikan	Dengan	Untuk mendapatkan
KG/CM ^{2}	14,2234	**Pounds per square inches (psi)**
KG/M	0,671972	**Pounds per foot**
KG/M ^{2}	0,204817	**Pounds per square foot**
KG/M ^{3}	6,24283 x 10 $^{-2}$	**Pounds per cubic foot**
KG/MM ^{2}	1422,34	**Pounds per square inches (psi)**
KG.M	7,233	**Foot pounds**
KM	0,62137	**miles**
Liter	3,53145 x 10 $^{-2}$	**Cubic feet**
M	3,28083	**feet**
M	39,37	**inches**
M	1,09361	**yards**
MM	3,28083 x 10 $^{-2}$	**feet**
MM	3,937 x 10 $^{-2}$	**inches**
MM^2	1,550 x 10 $^{-3}$	**Square inches**
Pounds	453,592	**gram**
Pounds	0,453592	**KG**
Pounds per cubic foot	16,0184	**KG/M^3**
Pounds per cubic yard	0,593272	**KG/M^3**
Pounds per foot	1,48816	**KG/M**
Pounds per square foot	4,88241	**KG/M^2**
Pounds per square inch	7,031 x 10 $^{-2}$	**KG/CM^2**
Pounds per square inch	7,031 x 10 $^{-4}$	**KG/MM^2**
Square feet	0,0929034	**M^2**
Square inches	6,45163	**CM^2**
Square inches	645,163	**MM^2**
Square meters	10,7639	**Square feet**
yards	**0,914402**	**M**

-oo0oo-

TENTANG PENULIS

Dilahirkan di Semarang tahun 1943. Menyelesaikan pendidikan formal di Semarang sampai pada Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Diponegoro tahun 1969, dan Pendidikan Pasca Sarjana Jalan Raya ITB - PUTL tahun 1978. Pengalaman bekerja di PT Nindya Karya (Persero) sejak tahun 1969 sampai dengan tahun 2000. Sebagai koordinator proyek-proyek di Kabupaten Banyumas pada tahun 1969 - 1970, sebagai Kepala PN Nindya Karya Perwakilan Cabang Irian Jaya di Sorong 1970 - 1977 yang merangkap sebagai Kepala Proyek dari beberapa proyek diantaranya Dermaga Beton di Sorong, Gedung Bank Exim Sorong, Complex Sekolah Perikanan Sorong, Jembatan Bailey-Bridge Sorong, dan perumahan-perumahan di Sorong. Pada tahun 1978, sebagai Kepala Proyek ikut melaksanakan sebagian pada Proyek Pembuatan Jembatan di Pamanukan. Pada tahun 1979 - 1980, sebagai Supeintendant ikut melaksanakan sebagian Proyek Pembangunan Jalan Raya Aceh Barat Sidikalang - Kruengluas. Pada tahun 1980 - 1984 sebagai Deputy General Superintendant melaksanakan pembangunan Proyek Dam Beton di Sampean Baru, Jawa Timur. Pada tahun 1984 - 1986 sebagai Kepala Proyek melaksanakan pembangunan Laboratorium Krakatau Steel, Cilegon.

Pada tahun 1986 - 1988 sebagai Kepala Proyek melaksanakan pembangunan Work Shop II Garuda di Pelud Sukarno - Hatta Cengkareng. Pada tahun 1988 membantu melaksanakan Proyek Dam Beton Sidoarjo. Pada tahun 1988 - 1990 sebagai Wakil Kepala Proyek melaksanakan pembangunan Pemasangan Pipa Air Baku Ø 2,50 M, Pologadung. Pada tahun 1990 - 1992 sebagai Deputy General Guperintendant melaksanakan pembangunan Proyek Jalan Layang Kereta Api (Juanda - Cikini). Pada tahun 1992 sebagai Kepala Proyek melaksanakan Proyek Jalan Kebon Jeruk. Dan menjabat sebagai Kepala Biro Sumber Daya Manusia di PT Nindya Karya (Persero) sampai pensiun normal tahun 2000.

Pernah mengikuti Pendidikan dan Latihan Manajemen Keuangan Konstruksi, Pendidikan dan Latihan Pengambilan Keputusan, Pendidikan dan Latihan Instruktur, Pendidikan dan Pelatihan Manajemen SDM, Pelatihan Keinstrukturan Bidang Jasa Konstruksi (*Training of Trainer Course*) - PUSLATJAKONS Departemen Pekerjaan Umum, dan Penataran Dosen PTS Dalam Rangka Peningkatan Mutu Tenaga Bidang Teknik Sipil Kopertis Wilayah I - XII Angkatan I (Khusus Struktur Kayu) - Direktorat Perguruan Tinggi Swasta.

Sampai sekarang masih aktif sebagai staf pengajar di Universitas Krisnadwipayana, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna, dan Universitas Mpu Tantular.

-oo0oo-